

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

**Marko Rešetar**

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Završni rad

# **Upravljanje EGR ventilom motora s unutarnjim izgaranjem**

Mentor:

**doc. dr. sc. Darko Kozarac**

Student:

**Marko Rešetar**

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu te opremu iz laboratorija za motore i vozila.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Darku Kozarcu, stručnom suradniku Anti Vučetiću, dipl. ing. i asistentu Mladenu Božiću, mag. ing. na pomoći pri izradi završnog rada.

Marko Rešetar



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Rešetar**

Mat. br.: 0035177943

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Upravljanje EGR ventilom motora s unutarnjim izgaranjem**

Naslov rada na engleskom jeziku: **EGR Valve Control of IC Engine**

Opis zadatka:

Radi sve strože zakonske regulative koja nalaže smanjenje emisija ispušnih plinova iz motora s unutarnjim izgaranjem koristi se EGR (engl. *Exhaust gas recirculation*) ventil koji služi za smanjenje emisije dušikovih oksida ( $\text{NO}_x$ ). EGR ventilom kod suvremenih vozila upravlja računalo motora (ECU). Za potrebe eksperimentalnog postava u Laboratoriju za motore i vozila potrebno je ostvariti upravljanje EGR ventilom pomoću vlastitog upravljačkog sustava.

U sklopu rada potrebno je:

- Proučiti postojeće EGR ventile i njihovo upravljanje.
- Razmotriti različite mogućnosti za upravljanje EGR ventilom.
- Odabrati električne i elektroničke sklopove potrebne za upravljanje EGR ventilom bez računala motora.
- U programskom paketu LabVIEW izraditi računalni model za upravljanje EGR ventilom.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Darko Kozarac

Referada za diplomske i završne ispite

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Obrazac DS - 3A/PDS - 3A

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK .....	VI
1. UVOD .....	1
2. ZAKONSKA REGULATIVA .....	2
3. RECIRKULACIJA ISPUŠNIH PLINOVA .....	4
3.1. Recirkulacija ispušnih plinova kod Otto motora .....	5
3.2. Recirkulacija ispušnih plinova kod Diesel motora .....	7
4. POSTOJEĆE VRSTE EGR VENTILA I NJIHOVO UPRAVLJANJE .....	10
4.1. EGR ventil upravljan priključnim potlakom .....	10
4.2. EGR ventil upravljan pretlakom povratnih ispušnih plinova .....	11
4.3. EGR ventil upravljan potlakom povratnih ispušnih plinova .....	12
4.4. Digitalni elektronički EGR ventil .....	15
4.5. Elektronički EGR ventil upravljeni PWM signalom .....	17
5. UPRAVLJANJE ELEKTRONIČKOG EGR VENTILA PWM SIGNALOM .....	21
5.1. Upravljački signali .....	22
5.2. Sklopovlje i elektroničke sheme potrebne za upravljanje EGR ventilom .....	22
5.1.1. CompactRIO 9074 .....	23
5.1.2. Ulazno-izlazni moduli za upravljanje .....	23
5.1.3. Elektroničke sheme .....	24
5.3. Spajanje odabrane sheme u sustav .....	30
5.4. Programski kod u LabView-u .....	33
5.5. Pokusni rad .....	35
6. ZAKLJUČAK .....	36
LITERATURA .....	37
PRILOZI .....	40

## POPIS SLIKA

Slika 1. Shema motora sa sustavom za povrat ispušnih plinova [3].	4
Slika 2. Utjecaj faktora pretička zraka $\lambda$ na štetnu emisiju ispušnih plinova s i bez pročišćavanja [3].	6
Slika 3. Shema ispušnog sustava Otto motora s dva katalitička konvertera [3].	6
Slika 4. Ovisnost udjela recirkuliranih plinova o opterećenju Otto motora [4].	7
Slika 5. Smanjenje emisije NO <sub>x</sub> -a pomoću recirkulacije ispušnih plinova [7].	8
Slika 6. Štetne emisije čestica i NO <sub>x</sub> -a iz motora s i bez hlađenja povratnih ispušnih plinova [8].	8
Slika 7. Stvaranje čepa čađe na EGR ventilu kod Diesel motora [9].	9
Slika 8. Hibridni usisno-ispušni sustav TDI motora [10].	9
Slika 9. EGR ventil upravljan priključnim potlakom [11].	10
Slika 10. Termički potlačni ventil EGR ventila upravljanog priključnim potlakom [12].	11
Slika 11. EGR ventil upravljan pretlakom povratnih ispušnih plinova [13].	12
Slika 12. Neutralni položaj EGR ventila upravljanog potlakom povratnih ispušnih plinova [14].	13
Slika 13. Djelomična recirkulacija ispušnih plinova [14].	13
Slika 14. EGR ventil upravljan potlakom povratnih ispušnih plinova [14].	14
Slika 15. Pneumatski upravljan EGR ventil [15].	14
Slika 16. Digitalni elektronički EGR ventil s dva elektromagneta [16].	15
Slika 17. Digitalni elektronički EGR ventil s dva elektromagneta za slučaj kada nema recirkulacije [16].	16
Slika 18. Shema upravljanja digitalnog elektroničkog EGR ventila s dva elektromagneta [16].	16
Slika 19. Vrijeme trajanja impulsa i vrijeme trajanja ciklusa [17].	17
Slika 20. Prvi linearni elektronički EGR ventil (General Motors) [18].	18
Slika 21. Shematski prikaz upravljanja EGR ventila.	19
Slika 22. Linearni elektronički EGR ventil tvrtke Delphi [20].	19
Slika 23. Zakretni elektronički EGR ventil tvrtke Gustav Wahler GmbH u. Co. KG [8].	20
Slika 24. EGR ventil sa zaklopkom tvrtke Delphi [21].	20
Slika 25. EGR ventil, Valeo 700434 [22].	21
Slika 26. Mehanizam za otvaranje i zatvaranje EGR ventila [23].	22
Slika 27. Baza za module NI CompactRIO 9074 [24].	23

Slika 28. Modul NI 9401 s mogućnošću konfiguracije digitalnih ulaza i izlaza [25].	23
Slika 29. Modul NI 9219 s analognim ulazima [27].	24
Slika 30. Shematski prikaz H-mosta [28].	25
Slika 31. Realna izvedba H-mosta pomoću tranzistora [28].	25
Slika 32. H-most pri uključenju tranzistora T1 i T1' i nakon njihovog isključenja [17].	26
Slika 33. Optosprežnik 4N25 tvrtke Vishay [29].	26
Slika 34. Shema spajanja DC motora na integrirani krug LB1645N [33].	27
Slika 35. Nadomjesna shema H-mosta LB1645N [33].	28
Slika 36. Zaštita NI 9401 modula od eventualnih povratnih struja.	28
Slika 37. Strujno-naponska karakteristika diode optosprežnika 4N25 pri provođenju [29].	29
Slika 38. EGR ventil kojim se upravlja u laboratoriju za motore i vozila.	30
Slika 39. Shema spoja motora i senzora položaja na konektor EGR ventila [23].	31
Slika 40. EGR ventil spojen na upravljanje.	31
Slika 41. Shema upravljanja EGR ventila.	32
Slika 42. CompactRIO baza s modulima.	32
Slika 43. Programski kod za upravljanje EGR ventila.	33
Slika 44. Upravljački dio u LabViewu.	34

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Granične vrijednosti emisije NO <sub>x</sub> -a, mg/km [1].....	2
Tablica 2. Proces stupanja na snagu EURO normi u EU za motorna vozila [2]. ....	3
Tablica 3. Kombinacije protoka kod digitalnog elektroničkog EGR ventila s dva elektromagneta. ....	15
Tablica 4. Spajanje pinova konektora EGR ventila [19]. ....	19
Tablica 5. Oznake pinova na kanalu modula NI 9219 [26]. ....	24



## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$c_p$	J/kgK	spec. toplinski kapacitet pri konst. tlaku
$c_v$	J/kgK	spec. toplinski kapacitet pri konst. volumenu
$d$	%	faktor popunjenosti
$f$	Hz	frekvencija PWM signala
$I_{D,ul}$	A	struja kroz diodu optosprežnika
$I_{ul,IC}$	A	struja na ulazu u integrirani krug
$L_a$	H	induktivitet armature
$m$	kg	masa vozila
$R_{izl,op}$	$\Omega$	otpor na izlazu optosprežnika
$R_{ul,op}$	$\Omega$	otpor na ulazu optosprežnika
$T_1$	K	temperatura na početku kompresije
$T_2$	K	temperatura na kraju kompresije
$T_i$	s	vrijeme trajanja impulsa
$T_c$	s	vrijeme trajanja ciklusa
$U, U_{sr}$	V	napon, srednja vrijednost napona armature
$u(t)$	V	vremenski promjenjivi napon
$V_{CC}$	V	napon na kolektoru fototranzistora
$V_{ul,IC}$	V	napon na ulazu u integrirani krug
$V_{ul,op}$	V	ulazni napon okidanja PWM signala
$\varepsilon$	-	kompresijski omjer
$\kappa$	-	omjer specifičnih toplina
$\lambda$	-	faktor pretička zraka

## SAŽETAK

Brzi razvoj tehnike kroz posljednjih nekoliko desetljeća ostavio je trag i u proizvodnji EGR (engl. *Exhaust Gas Recirculation*) ventila. Najjednostavniji pneumatski aktivirani EGR ventili evoluirali su u elektronički upravljane i regulirane EGR module s mogućnošću hlađenja ispušnih plinova i na taj je način ostvaren cilj u smislu smanjenja štetnih emisija pa čak i potrošnje goriva. Cilj ovog rada jest ostvariti upravljanje na konkretnom tipu EGR ventila u laboratoriju za motore i vozila, Fakulteta strojarstva i brodogradnje te na taj način uz doprinos drugih kolega koji rade ili će raditi slične zadatke, ostvariti jednom potpuno upravljanje radom motora s unutarnjim izgaranjem. U sklopu ovog rada razmotrena je primjena recirkulacije ispušnih plinova kod Otto i Diesel motora i njezin utjecaj na štetne emisije iz motora. Proučene su postojeće vrste EGR ventila i njihova upravljanja. Za odabrani tip EGR ventila napravljene su elektroničke sheme upravljanja, odabrane su elektroničke komponente i sklopovi potrebni za upravljanje bez računala motora. U programskom paketu LabView izrađen je računalni model za upravljanje EGR ventilom. Na osnovu promjenjivog signala sa senzora položaja EGR ventila koji predstavlja povratnu vezu potrebno je regulirati cijeli proces i spriječiti eventualne udare ventila o sjedište. Upravljački digitalni signali, kao i povratni analogni signali sa senzora pomaka prolaze kroz National Instruments opremu na računalo kojim bi se trebalo preko programskog paketa LabView upravljati radom EGR ventila.

## 1. UVOD

Radi sve strože zakonske regulative koja nalaže smanjenje emisija ispušnih plinova iz motora s unutarnjim izgaranjem koristi se recirkulacija ispušnih plinova, EGR (engl. *Exhaust Gas Recirculation*) čija je osnovna svrha smanjenje štetne emisije dušikovih oksida ( $\text{NO}_x$ ).

Dušikovi oksidi zajedno s ozonom tvore glavnu komponentu smeđeg smoga, dok zajedno sa sumporovim dioksidom ( $\text{SO}_2$ ) doprinose stvaranju kiselih kiša. Dušikovi oksidi također mogu uzrokovati i respiratorne probleme, osobito kod djece i drugih ranjivih grupa kao što su astmatičari. Iako je dušik pri normalnim temperaturama inertan plin, kod vrlo visokih temperatura poput ovih koje nastaju u cilindru on kemijski reagira s kisikom. Glavni uzrok pojave  $\text{NO}_x$ -a su visoke temperature izgaranja gorive smjese u cilindru što je posebno izraženo kod motora s kompresijskim paljenjem (Diesel motor). Recirkulacija ispušnih plinova je također bitna i kod motora sa stranim paljenjem (Otto motor) koji mogu raditi sa siromašnom smjesom kao npr. GDI (engl. *Gasoline Direct Injection*) motor jer tada trokomponentni katalizator ne može smanjivati emisiju  $\text{NO}_x$ -a. Na taj način EGR ventil rasterećuje apsorpcijski katalizator za  $\text{NO}_x$  i produžava vrijeme između dvije regeneracije. Danas najviše korišteni tip EGR ventila jest u načelu ventil s povratnom vezom (regulacijski ventil) kojim upravlja računalo motora, ECU (engl. *Engine Control Unit*). Računalo motora upravlja radom motora te ovisno o promjenama pojedinih veličina koje se pojavljuju za vrijeme rada motora, ono vrši korekciju istih na način da ih prilagodi optimalnim vrijednostima. Tako u području djelomičnog opterećenja motora EGR ventil vraća određenu količinu ispušnih plinova u cilindar. Kod današnjih suvremenih GDI motora taj iznos doseže 30% , a kod dizelskih DI (engl. *Direct Injection*) motora taj iznos doseže čak 60% . Ispušnim se plinovima neposredno prije recirkulacije prethodno snižava temperatura prolaskom kroz hladnjak. Na taj se način omogućuje ulazak većeg masenog udjela ispušnih plinova u cilindar, a ujedno ispušni plinovi snižene temperature izravno doprinose sniženju vršnih temperatura izgaranja te posljedično i sniženju štetne emisije  $\text{NO}_x$ -a.

Cilj ovog rada jest ostvariti upravljanje na konkretnom tipu EGR ventila u laboratoriju za motore i vozila, Fakulteta strojarstva i brodogradnje te na taj način uz doprinos drugih kolega koji rade ili će raditi slične zadatke, ostvariti jednom potpuno upravljanje radom motora s unutarnjim izgaranjem.

## 2. ZAKONSKA REGULATIVA

Razvoj i usavršavanje EGR sustava potaknuti su sve strožom zakonskom regulativom koja nalaže smanjenje štetnih emisija kod motora s unutarnjim izgaranjem. Homologacijskim propisima kod motora cestovnih vozila ograničene su količine sljedećih štetnih tvari koje vozilo ispušta u okoliš:

- a) ugljikov monoksid ( $\text{CO}$ )
- b) dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ )
- c) ugljikovodici ( $\text{HC}$ )
- d) čestice ( $\text{PM}$ )
- e) nemetanski ugljikovodici ( $\text{NMHC}$ ).

Homologacijski propisi u Europi su ECE-pravilnici, dok na području Europske unije važe nešto strože EEC-smjernice. ECE-pravilnici donose se na temelju Sporazuma u Genevi (1958.) koji je donesen od Ekonomske komisije za Europu (ECE) Ujedinjenih nacija (UN).

Upravo su ti propisi pokrenuli val novih metoda za rješavanje problema štetnih emisija, od kojih je recirkulacija ispušnih plinova jedna od metoda za smanjenje štetne emisije  $\text{NO}_x$ -a.

Ograničenja u emisiji  $\text{NO}_x$ -a bila su u zajedničkoj grupi s  $\text{HC}$  do stupanja na snagu norme EURO3 2000. godine. Tablica 1 pokazuje granične vrijednosti emisije  $\text{NO}_x$ -a kod Otto i Diesel motora kroz EURO norme.

**Tablica 1. Granične vrijednosti emisije  $\text{NO}_x$ -a, mg/km [1].**

Kategorija vozila	Klasa	Masa vozila [kg]	EURO3		EURO4		EURO5		EURO6	
			Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel
M	-	-	150	500	80	250	60	180	60	80
N1	I	$\leq 1305$	150	500	80	250	60	180	60	80
	II	1305...1760	180	650	100	330	75	235	75	105
	III	$> 1760$	210	780	110	390	82	280	82	125
N2	-	-	210	780	110	390	82	280	82	125

M – osobni automobili i autobusi

N1 – teretni automobili  $m < 3500 \text{ kg}$

N2- teretni automobili  $3500 < m < 12000 \text{ kg}$

Trenutno su u Europskoj uniji na snazi EURO5 norme. EURO6 nastupit će na snagu 1. rujna 2014. godine za M kategoriju vozila, kao što je prikazano u tablici 2.

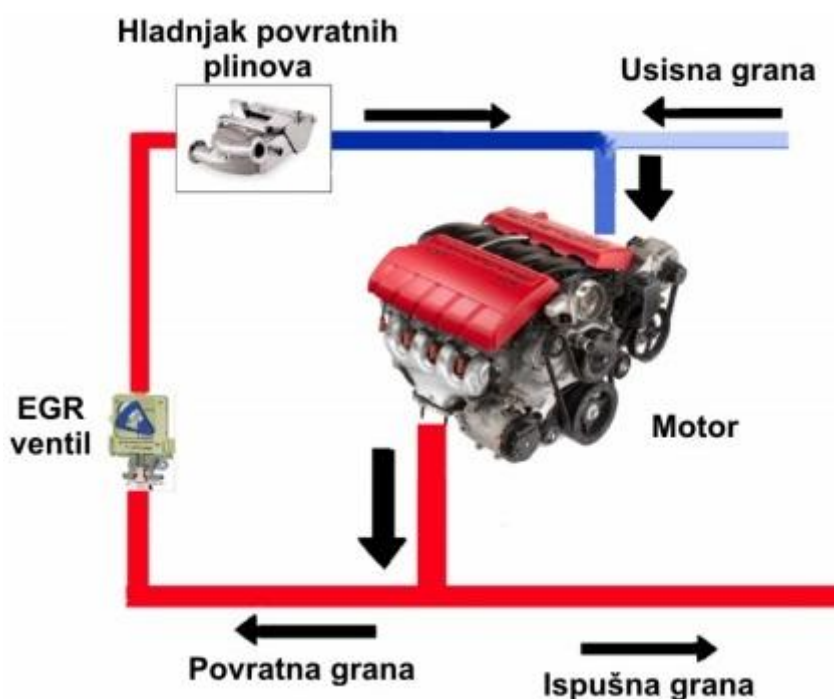
**Tablica 2. Proces stupanja na snagu EURO normi u EU za motorna vozila [2].**

Kategorija vozila	Klasa	Vrijeme stupanja na snagu									
		2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.
M	-	EURO4			EURO5a		EURO5b/5b+			EURO6	
N1	I	EURO4			EURO5a		EURO5b/5b+			EURO6	
	II	EURO4			EURO5a		EURO5b/5b+			EURO6	
	III	EURO4			EURO5a		EURO5b/5b+			EURO6	
N2	-	EURO4			EURO5a		EURO5b/5b+			EURO6	

### 3. RECIRKULACIJA ISPUŠNIH PLINOVA

Recirkulacija ispušnih plinova provodi se s namjerom smanjenja vršnih temperatura izgaranja, što posljedično rezultira smanjenjem  $\text{NO}_x$ -a. Prvi EGR sustavi uvedeni su 70-ih godina prošlog stoljeća. Prvobitno su zamišljeni kao metoda sprječavanja detonantnog izgaranja kod Otto motora, no kasnije se ispostavilo da se pomoću EGR-a može smanjiti koncentracija  $\text{NO}_x$ -a u ispušnim plinovima.

Kao što je spomenuto u uvodu, recirkulacija ispušnih plinova se provodi s primarnim ciljem smanjenja štetne emisije  $\text{NO}_x$ -a. Primjer jednog EGR sustava prikazan je na slici 1.



Slika 1. Shema motora sa sustavom za povrat ispušnih plinova [3].

Dio ispušnih plinova se preusmjerava s ispušne u povratnu granu. Na povratnoj grani se nalazi EGR ventil upravljani računalom motora. Ovisno o promjenama određenih parametara za vrijeme rada motora (brzini vrtnje, tlaka na usisu, temperature motora), ECU šalje signal na EGR ventil i njegova se zaklopka (ventil) otvara. To omogućava povrat ispušnih plinova u cilindar. Ukoliko se radi o regulacijskom ventilu, tada novi položaj registrira senzor EGR ventila koji daje povratnu informaciju novog položaja računalu. Na taj način je zatvoren regulacijski krug. Kod nekih vrsta EGR ventila prije povrata ispušnih plinova u usisnu granu vrši im se snižavanje temperature u hladnjaku kako bi efekt smanjenja vršnih temperatura izgaranja, a posljedično i emisije  $\text{NO}_x$ -a bio bolji.

Vršne temperature u cilindru motora mogu se smanjiti recirkulacijom ispušnih plinova preko omjera specifičnih toplota  $\kappa$ .

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}, \quad (1)$$

$T_2$  - temperatura smjese plinova u cilindru na kraju kompresije,

$T_1$  - temperatura smjese plinova u cilindru na početku kompresije,

$\varepsilon$  - kompresijski omjer,

$\kappa$  - omjer specifičnih toplina (specifičnih toplinskih kapaciteta).

Specifični toplinski kapacitet ispušnih plinova veći je od specifičnog toplinskog kapaciteta zraka. To doprinosi ukupnom povećanju specifičnih toplina smjese zraka i ispušnih plinova koji ulaze u cilindar. Stoga slijedi da preko relacije

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v}, \quad (2)$$

$c_p$  - specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku,

$c_v$  - specifični toplinski kapacitet pri konstantnom volumenu,

$R$  - specifična plinska konstanta zraka,

povećanjem specifičnog toplinskog kapaciteta vrijednost  $\kappa$  opada. Sukladno tome smanjuje se temperatura  $T_2$  i vršne temperature u cilindru.

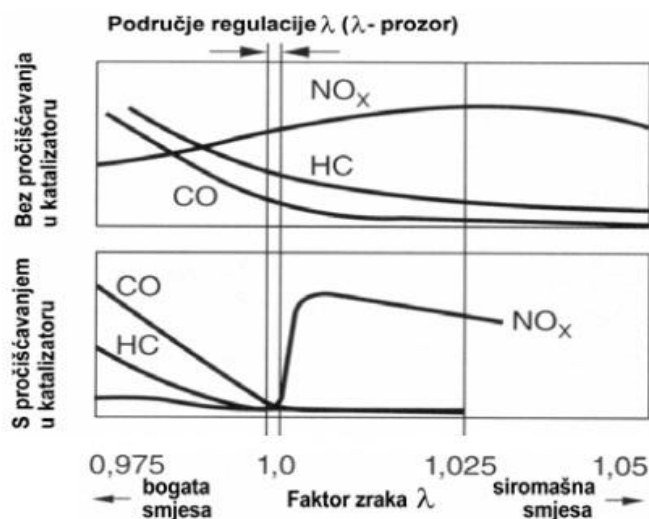
Povratom ispušnih plinova čija je temperatura znatno veća od temperature zraka na usisu, dolazi do povećanja temperature  $T_1$  na početku kompresije. To prema izrazu (1) uzrokuje povećanje temperature  $T_2$  na kraju kompresije, a posljedično i porast vršnih temperatura u cilindru. Kako bi se temperaturu  $T_1$  održavalo što nižom, vrši se recirkulacija ispušnih plinova kroz hladnjak.

### 3.1. Recirkulacija ispušnih plinova kod Otto motora

Regulacija snage kod Otto motora vrši se promjenom količine usisavane smjese goriva i zraka ili samo promjenom usisavane količine zraka (izravno ubrizgavanje goriva u cilindar). Pritom se prigušava usis pomoću zaklopke u usisnoj cijevi, dok se faktor pretička zraka  $\lambda$  pritom ne mijenja (GDI i FSI motori rade s  $\lambda \geq 1$ ).

Za potpuno izgaranje 1 kg benzinskog goriva (Otto motori mogu raditi i na plinovito gorivo) potrebno je približno 14,7 kg zraka. U takvim uvjetima svo gorivo bi izgorjelo, tako da u produktima izgaranja ne bi bilo slobodnog kisika. Omjer između stvarno usisane mase zraka i teoretske naziva se faktorom pretička zraka  $\lambda$  (lambda). Smjesa je stehiometrijska kada je taj faktor jednak jedinici. Kad je veći od jedinice smjesa je siromašna, a kad je manji smjesa je bogata.

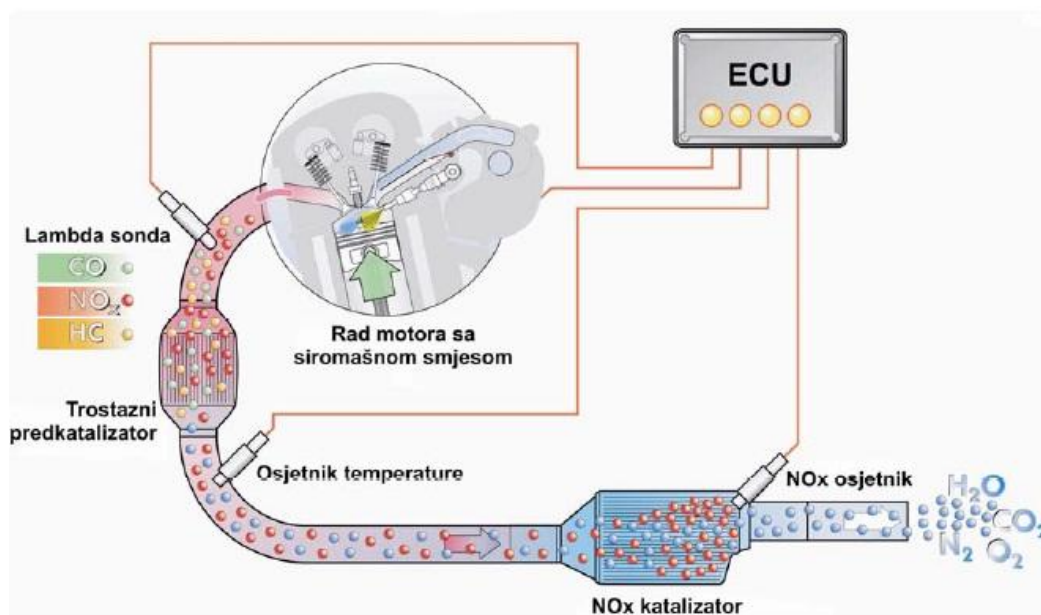
*Otto motori s ubrizgavanjem goriva u usisnu cijev i Otto motori s izravnim ubrizgavanjem goriva u cilindar i homogenom smjesom* rade u režimu rada s pretičkom zraka  $\lambda = 1 \pm 0,02$  (osim kod punog opterećenja kada je  $\lambda < 1$ ). Kod njih trokomponentni katalitički konverter ima najbolju učinkovitost, ali kada je zagrijan na temperaturu preko 600°C i u tom slučaju emisije NO<sub>x</sub> -a su u velikoj mjeri reducirane, slika 2.



Slika 2. Utjecaj faktora pretička zraka  $\lambda$  na štetnu emisiju ispušnih plinova s i bez pročišćavanja [3].

U ovom slučaju EGR ventil dodatno pridonosi smanjenju štetne emisije  $\text{NO}_x$ -a.

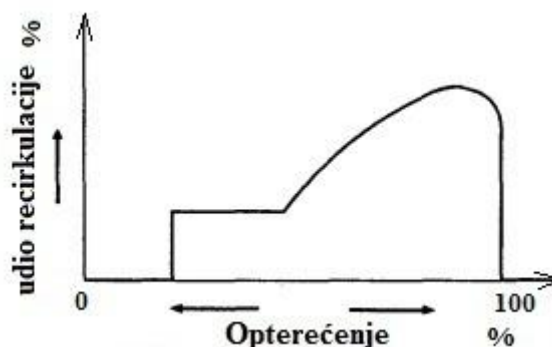
Značajnija funkcija EGR ventila je kod *Otto motora s izravnim ubrizgavanjem goriva u cilindar i heterogenom smjesom* kao što su GDI i FSI (engl. *Fuel Stratified Injection*) motor. Njihov ispušni sustav se sastoji od trokomponentnog i apsorpcijskog katalitičkog konvertera (KK), slika 3. Kada motor radi sa stehiometrijskom smjesom, trokomponentni i apsorpcijski KK za  $\text{NO}_x$  rade kontinuirano tj. ponašaju se kao dva trokomponentna KK-a. Međutim, kod rada sa siromašnom smjesom trokomponentni KK i dalje oksidira CO i HC, a apsorpcijski preuzima funkciju smanjenja  $\text{NO}_x$ -a. Kako bi se rasteretio apsorpcijski KK i produljilo vrijeme između dvije regeneracije koristi se EGR ventil.



Slika 3. Shema ispušnog sustava Otto motora s dva katalitička konvertera [3].



Kod Otto motora najveća količina recirkuliranih ispušnih plinova ograničena je zatjevom gorive smjese da se održi rasprostiranje plamena u cilindru tijekom izgaranja. Previše recirkuliranih ispušnih plinova uzrokovalo bi izostajanjem izgaranja, stoga se kod Otto motora izbjegava EGR kod praznog hoda i hladnog starta, ali također i kod velikog opterećenja jer bi došlo do pada snage motora [4,5]. Dakle, EGR ventil se otvara samo kada je motor na radnoj temperaturi pod djelomičnim opterećenjem, slika 4.



Slika 4. Ovisnost udjela recirkuliranih plinova o opterećenju Otto motora [4].

Kod najnovijih Otto motora EGR sustavi smanjuju potrošnju goriva i emisiju  $\text{CO}_2$  za 7-8% [6].

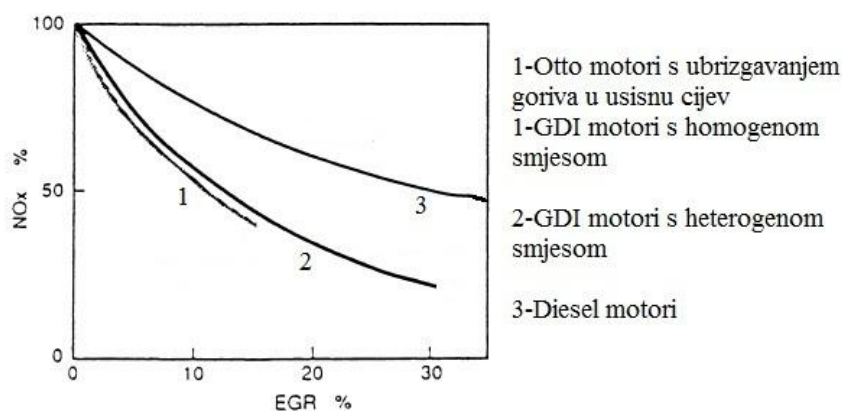
Iz navedenog možemo zaključiti da ukoliko motor nepravilno radi ili se "gasi" za vrijeme praznog hoda odnosno ako mu fali snage kod punog opterećenja, postoji mogućnost da je EGR sustav vjerojatno zakazao (EGR ventil je otvoren do kraja). Česta mogućnost otkazivanja EGR sustava u praksi je za slučaj kada je EGR ventil zatvoren do kraja (stvaranje čepa čađe i oksida na ventilu). Ta pojava uzrokuje da motor za vrijeme djelomičnog opterećenja počinje "udarati", dolazi do detonantnog izgaranja zbog nastalih visokih temperatura u cilindru te može u kratkom vremenu doći do oštećenja motora.

### 3.2. Recirkulacija ispušnih plinova kod Diesel motora

Regulacija snage kod Diesel motora (pri konstantnoj brzini brtnje) vrši se promjenom ubrizgavane količine goriva po procesu uz približno istu količinu zraka u cilindru odnosno regulacija snage vrši se promjenom faktora pretička zraka  $\lambda$ .

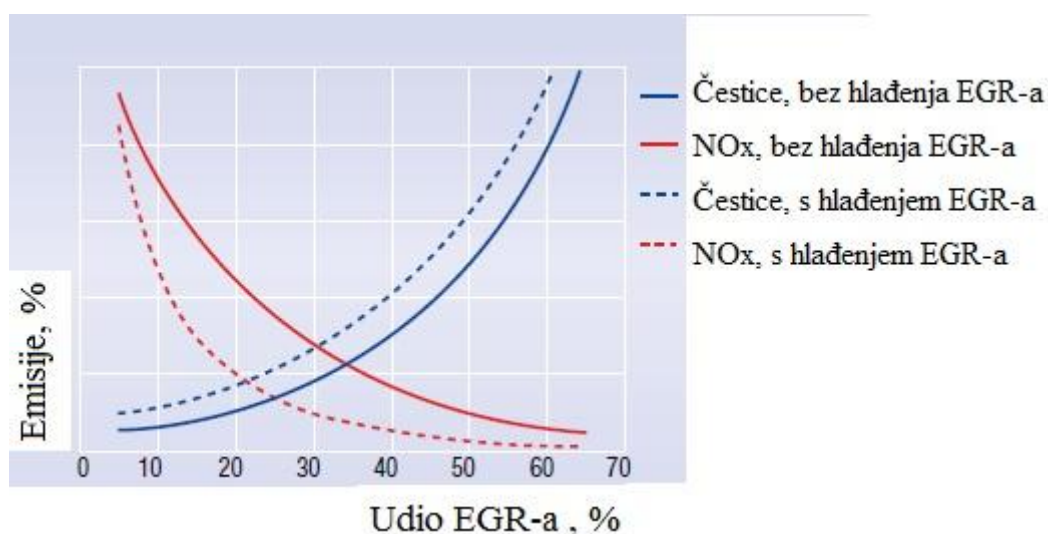
*Diesel motori* rade s velikim pretičkom zraka  $\lambda > 1$  pa je primjena trokomponentnog KK-a neprimjerena. U ovom slučaju, za smanjenje emisije CO i HC koristi se oksidacijski KK. Do 2005. godine jedini način za smanjenje emisije  $\text{NO}_x$ -a bila je recirkulacija ispušnih plinova. Na taj se način vraćalo i do 60% ispušnih plinova ponovno u cilindar što nije narušavalo njegov rad zbog velikog suviška zraka. Danas se za smanjenje  $\text{NO}_x$ -a koriste složeniji EGR sustavi s filterom i hladnjakom, a kod najnovijih modela hlađenje se izvodi ovisno o veličini opterećenja motora čak i u više koraka, ili zrakom ili rashladnom tekućinom.

Vršni tlakovi i temperature su kod Diesel motora veće nego kod Otto motora, a i faktor prelička zraka znatno je veći što znači da će i emisije  $\text{NO}_x$ -a biti puno veće, pa će i udio EGR-a morati biti veći, slika 5.



Slika 5. Smanjenje emisije  $\text{NO}_x$ -a pomoću recirkulacije ispušnih plinova [7].

Dakle, povećanjem EGR-a smanjuje se suvišak zraka (kisik + dušik) pa se stoga smanjuje i  $\text{NO}_x$ . S druge strane problem stvaraju visoke temperature izgaranja u cilindru pri većem opterećenju motora, kod kojih dolazi do formiranja  $\text{NO}_x$ -a. Zbog toga se kod većeg opterećenja motora vrši hlađenje ispušnih plinova kako bi se integralno gledano smanjile vršne temperature izgaranja, a posljedično i emisija  $\text{NO}_x$ -a, slika 6. Također, specifični toplinski kapacitet produkata izgaranja (ukupno gledano  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ ) je veći od specifičnog toplinskog kapaciteta zraka, što znači da je za ponovno zagrijavanje ispušnih plinova potrebno dovesti više topline nego za zagrijavanje iste količine zraka, pa to dodatno pridonosi smanjenju vršnih temperatura izgaranja.



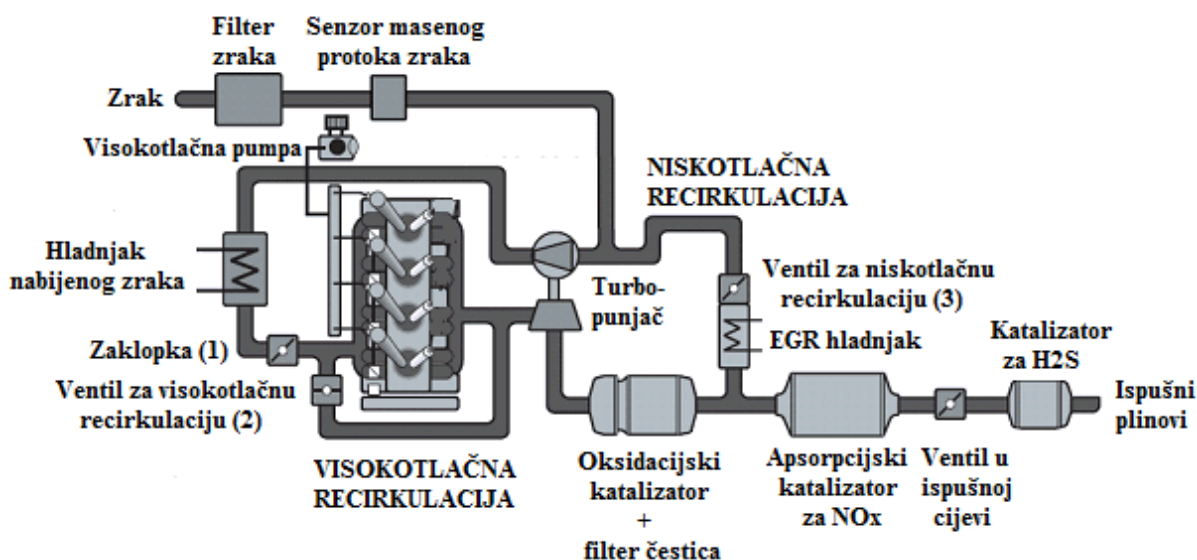
Slika 6. Štetne emisije čestica i  $\text{NO}_x$ -a iz motora s i bez hlađenja povratnih ispušnih plinova [8].

Problem s EGR ventilima kod Diesel motora su ti da s vremenom dolazi do nakupljanja čestica čađe koja narušava rad ventila. Ventil se začepi i spriječena je recirkulacija, slika 7.



Slika 7. Stvaranje čepa čađe na EGR ventilu kod Diesel motora [9].

Slika 8. prikazuje najnoviji hibridni usisno-ispušni sustav TDI (engl. *Turbo Direct Injection*) motora kod kojih se EGR podsustav sastoji od dvije grane. Jednom granom se odvija visokotlačna recirkulacija ispušnih plinova na usis. Ona se odvija pri maloj brzini vrtnje i malom opterećenju motora, u tom su slučaju otvoreni zaklopka (1) i ventil za visokotlačnu recirkulaciju (2), dok je ventil za niskotlačnu recirkulaciju (3) zatvoren. Drugom granom odvija se niskotlačna recirkulacija i to kod veće brzine vrtnje i većeg opterećenja, a u tom su slučaju otvoreni zaklopka (1) i ventil za niskotlačnu recirkulaciju (3), dok je ventil za visokotlačnu recirkulaciju (2) zatvoren. U grani niskotlačne recirkulacije se prethodno vrši filtriranje, zatim intenzivno hlađenje te potom vraćanje ispušnih plinova na usis.



Slika 8. Hibridni usisno-ispušni sustav TDI motora [10].

## 4. POSTOJEĆE VRSTE EGR VENTILA I NJIHOVO UPRAVLJANJE

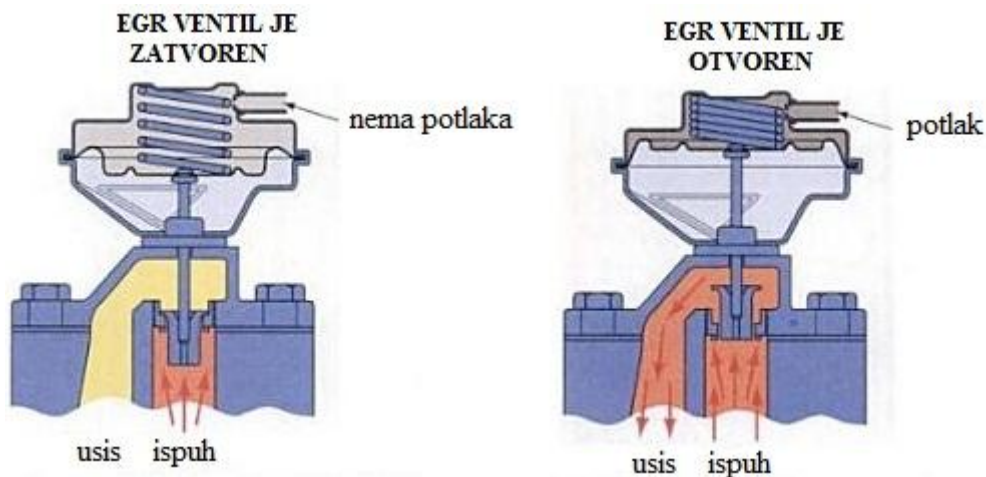
EGR ventili se prema načinu rada mogu podijeliti na:

- Upravljanje priključnim potlakom
- Upravljanje pretlakom povratnih ispušnih plinova
- Upravljanje potlakom povratnih ispušnih plinova
- Digitalne elektroničke
- Elektroničke, upravljane PWM signalima

Danas uglavnom prevladavaju elektronički EGR ventili upravljani PWM signalima koji uspješno zadovoljavaju sve strože zakonske regulative o štetnim emisijama.

### 4.1. EGR ventil upravljan priključnim potlakom

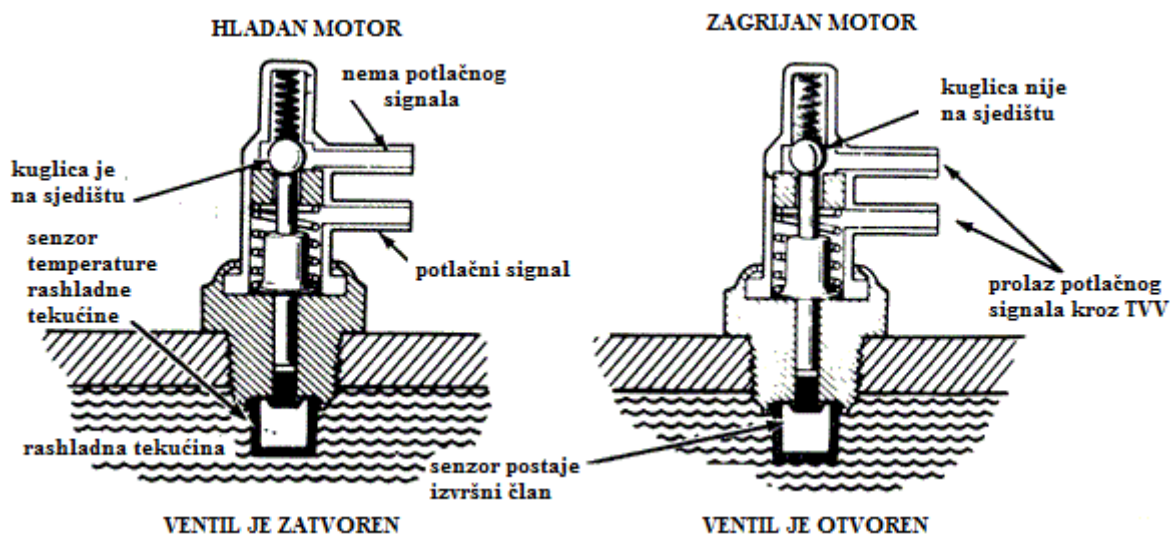
Ugrađivan je u vozila od 1973. do 80-ih godina. Glavni dijelovi su membrana spojena na kućište i konusni zatvarač EGR ventila. Mala cijev iz ispušnog sustava dovodi ispušne plinove na ventil. Kada potlak s potlačnog kanala privuče membranu, EGR ventil se otvara i ispušni se plinovi vraćaju u cilindar, slika 9. Kao izvor potlaka kod Otto motora koristi se zaklopka u usisnoj cijevi, dok kod Diesel motora tu funkciju obavlja potlačna pumpa, tzv. vakuum pumpa.



Slika 9. EGR ventil upravljan priključnim potlakom [11].

Kako bi se kod Otto motora spriječilo otvaranje EGR ventila pri hladnom startu, potlačni vod koji vodi do EGR ventila biva spojen na prekidač potlaka (engl. *Ported Vacuum Switch, PVS*), poznat pod drugim nazivom kao termički potlačni ventil (engl. *Thermal Vacuum Valve, TVV*). To je jednostavni ventil sa senzorom temperature, a smješten je na bloku motora. Tvar koja se koristi kao senzor temperature je parafinski vosak. S povećanjem temperature, vosak prelazi iz krute u tekuću fazu, viskoznost mu pritom opada, ali mu se povećava volumen. Kada je

motor hladan, vosak ostaje u krutoj fazi, a termički potlačni ventil ostaje u neutralnom položaju te na taj način blokira potlačni signal s izvora potlaka na EGR ventil. S porastom temperature rashladne tekućine iznad  $45^{\circ}\text{C}$  vosak počinje ekspanirati (funkcija aktuatora) pa pritiskuje pipac na kuglicu te pritom ostvaruje prolaz potlačnog signala s izvora (potlačne pumpe ili usisne cijevi) na EGR ventil, slika 10.



Slika 10. Termički potlačni ventil EGR ventila upravljanog priključnim potlakom [12].

Recirkulacija ispušnih plinova kod Otto motora potrebna je samo kada je motor na radnoj temperaturi i pod opterećenjem.

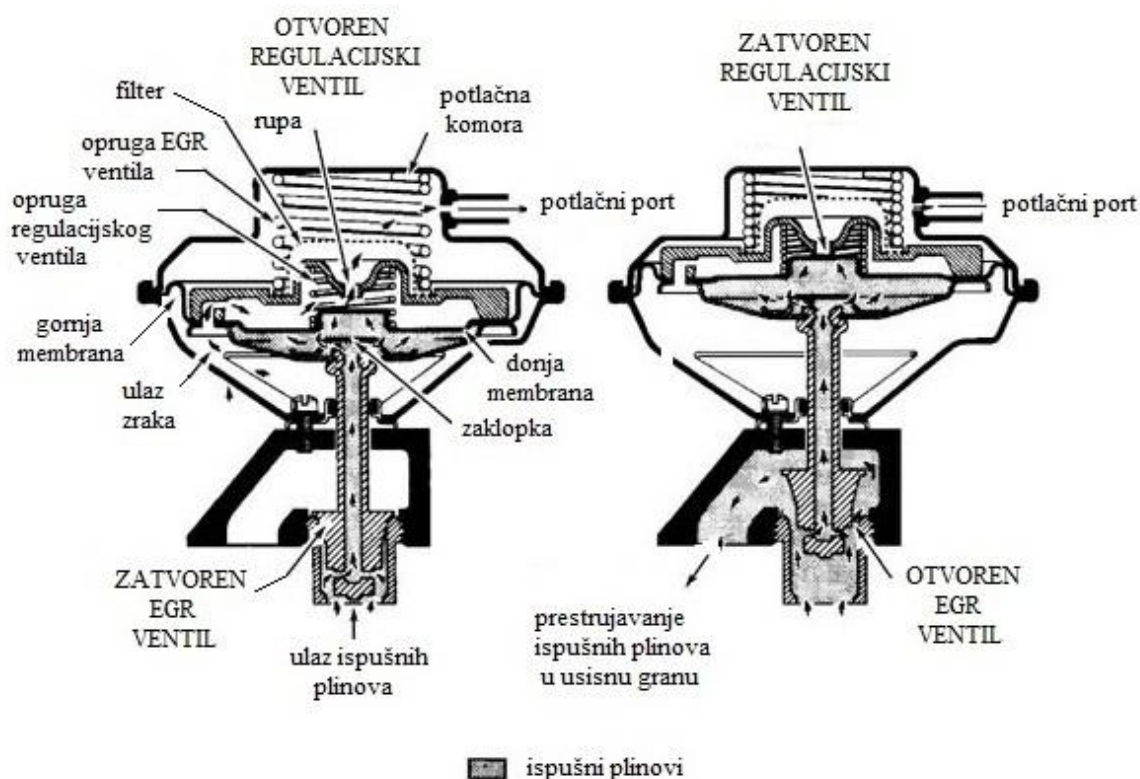
Kod Diesel motora se najviše štetnih emisija generira kod hladnog starta motora, kod praznog hoda i djelomičnog opterećenja. U vrijeme razvoja prvih EGR ventila, kako bi EGR imalo svrhe koristiti i kod Diesel motora, primijenjena je drugačija konstrukcijska izvedba TVV-a. Ona je omogućavala potlačni signal na EGR ventilu pri niskim temperaturama rashladne tekućine.

#### 4.2. EGR ventil upravljan pretlakom povratnih ispušnih plinova

Ovaj tip EGR ventila sprječava recirkulaciju kod malog broja okretaja i malog opterećenja motora, a povećava recirkulaciju s porastom brzine vrtnje i opterećenja, te su kao takvi primjenjivi kod Otto motora. Rupa na gornjoj membrani EGR ventila djeluje kao regulator tlaka. Ona dobiva povratni signal ispušnih plinova kroz provrt pipca EGR ventila. Za slučaj malog opterećenja, pretlak ispušnih plinova je premali da bi se tzv. regulacijski ventil zatvorio te u tom slučaju kroz šest rupa po obodu kućišta zrak iz atmosfere prolazi kroz EGR ventil na potlačni kanal, ostavljajući pritom EGR ventil zatvorenim. S povećanjem opterećenja raste tlak ispušnih plinova te se javlja veća sila na regulacijskom ventilu i on se zatvara. Kada se regulacijski ventil zatvori, poraste potlak na membranu EGR ventila i on se otvara. Potlak s potlačnog kanala zadržava regulacijski ventil zatvorenim (više nema prestrujavanja zraka iz atmosfere kroz EGR ventil na potlačni kanal) sve dok ne padne pretlak ispušnih plinova. S padom pretlaka ispušnih plinova, sila u opruzi regulacijskog ventila nadvlada silu pretlaka na



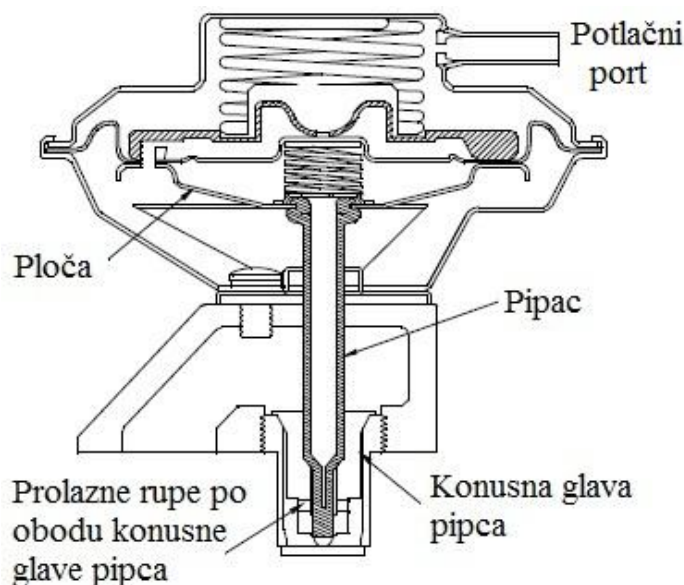
donjoj membrani, regulacijski se ventil se otvara, a EGR ventil zatvara. Obje opruge EGR ventila su tlačne. Slika 11 prikazuje takvu izvedbu EGR ventila.



Slika 11. EGR ventil upravljani pretlakom povratnih ispušnih plinova [13].

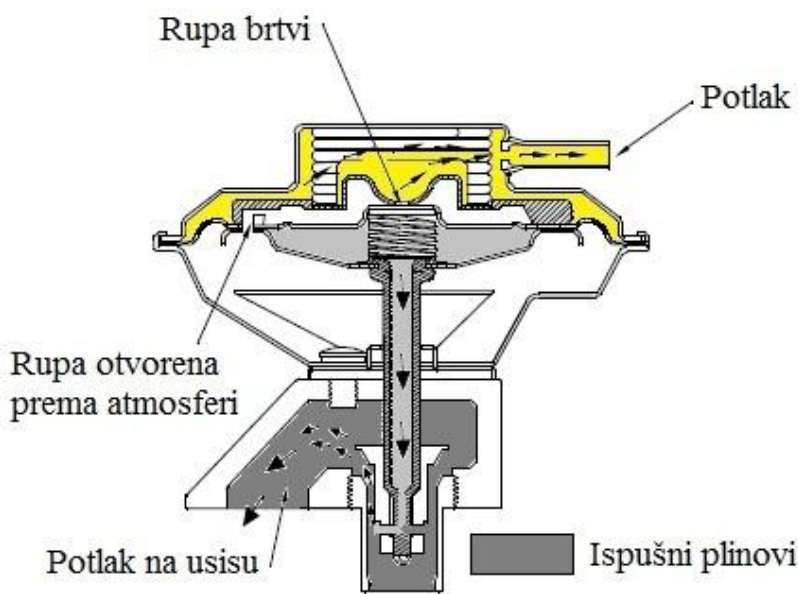
#### 4.3. EGR ventil upravljani potlakom povratnih ispušnih plinova

Prema konstrukciji sličan je EGR ventilu upravljanom pretlakom ispušnih plinova te sadrže većinu istih dijelova samo što rade na drugačiji način. EGR ventil upravljani potlakom ispušnih plinova sastoji se također od dvije membrane unutar kućišta. To su jedna veća membrana, tzv. gornja membrana, pričvršćena između dvodijelnog kućišta i manja membrana, tzv. donja membrana spojena na šuplji zatvarač ventila. Iznad gornje membrane nalazi se veća (tlačna), a ispod donje membrane jedna manja (vlačna) opruga. To je razlika u odnosu na prethodni tip ventila kod kojeg su obje opruge tlačne i kod kojeg je manja opruga smještena između membrana. U središtu gornje membrane nalazi se brtvena rupa, tzv. regulacijski ventil, dok se na donjoj membrani nalazi rupa otvorena prema atmosferi. S obzirom da je manja opruga smještena ispod donje membrane, ona pritiskuje donju membranu prema gore i tako u neutralnom položaju brtvi središnju rupu na gornjoj membrani. To znači da kad bi se djelovalo ručno potlakom na potlačnom kanalu kad je motor isključen, EGR ventil bi se otvorio. Zatvaranjem rupe stvara se komora u gornjem dijelu EGR ventila. To znači da primjenom potlaka u potlačnom kanalu dolazi do otvaranja EGR ventila.



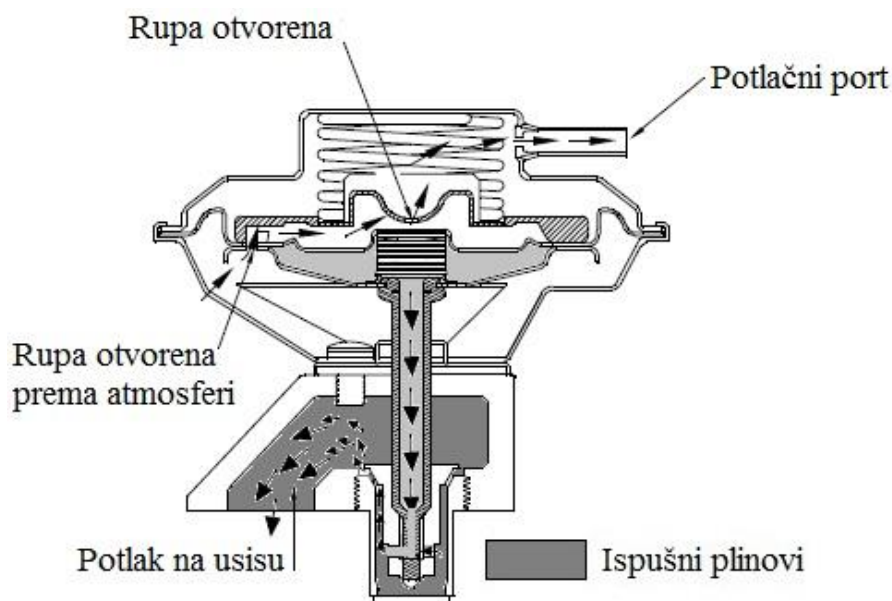
Slika 12. Neutralni položaj EGR ventila upravljanog potlakom povratnih ispušnih plinova [14].

Kako bi se shvatio način upravljanja, potrebno je obratiti pogled na donju polovicu EGR ventila. U donjem dijelu nalazi se šuplji pipac s rupom na obodu i konusnom glavom kojom nasjeda na kućište. U neutralnom položaju obje opruge osiguravaju brtvljenje središnje rupe gornje membrane s donjom membranom. U takvom položaju obje opruge su neopterećene i EGR ventil je zatvoren, slika 12. Kada se primjeni potlak u potlačnom kanalu, dolazi do odizanja pipca i sabijanja veće opruge (pritom je donja opruga neopterećena, a sila na pipac se prenosi preko ploča). Ploče koje povezuju donju membranu i šuplji pipac se odižu od sjedišta pipca te dolazi do otvaranja EGR ventila i recirkulacije ispušnih plinova. Podizanje pipca odraženo je na pojavu lokalnog pada tlaka u području sjedišta ventila zbog suženog prostora prestrujavanja. Potlak s usisne grane počinje djelovati na donju membranu kroz šuplji pipac i pritom pruža određeni otpor potlaku s potlačnog kanala, slika 13.



Slika 13. Djelomična recirkulacija ispušnih plinova [14].

Kada potlak s donje strane donje membrane nadvlada potlak u potlačnom kanalu, dolazi do otvaranja središnje rupe na gornjoj membrani, potlak s potlačnog kanala počinje uvlačiti zrak iz atmosfere, a EGR ventil se pritvara, slika 14. Kada se EGR ventil potpuno zatvorio, potlak s donje strane donje membrane nestane. Tlak ispod donje membrane se izjednači s tlakom ispušnih plinova kroz rupe po obodu vrha pipca. Tlačna sila u manjoj opruzi nestaje te se opruga vraća u početni položaj potiskujući donju membranu na središnju rupu gornje membrane. Pritom se zatvara brtvena rupa, a potlak s potlačnog kanala privuče šuplji pipac i EGR ventil se počinje otvarati. Cijeli ciklus se neprestano odvija, a šuplji pipac tj. EGR ventil oscilira gore-dolje.



Slika 14. EGR ventil upravljani potlakom povratnih ispušnih plinova [14].

Navedena prva tri tipa EGR ventila mogu izvana načelno podjednako izgledati kao što je to prikazano na slici 15.



Slika 15. Pneumatski upravljani EGR ventil [15].



#### 4.4. Digitalni elektronički EGR ventil

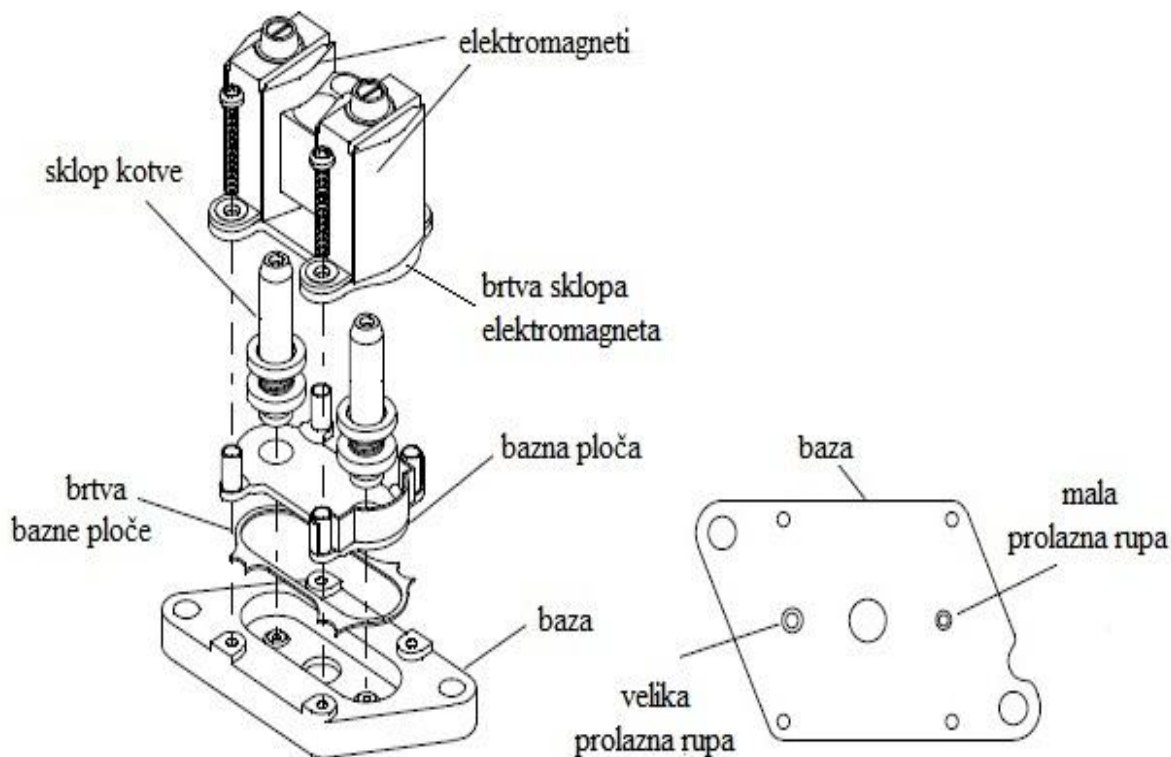
Ugrađivan je u vozila od kasnih 80-ih do 90-ih godina. Ova vrsta koristi također oprugu za zatvaranje EGR ventila, ali je njihovo otvaranje digitalno elektroničko, a elektromagnetima upravlja ECU. Ova vrsta EGR ventila može imati dva ili tri elektromagneta te njihovom kombinacijom uključivanja odnosno isključivanja ostvariti upravljanje.

Radi jednostavnosti, razmatrat će se digitalni elektronički EGR ventil s dva elektromagneta, koji je bio korišten od strane General Motorsa na 2.3-litrenim motorima, slika 16.

EGR ventilom s dvije prolazne rupe na bazi moguće je ostvariti 3 različite kombinacije protoka, tablica 3.

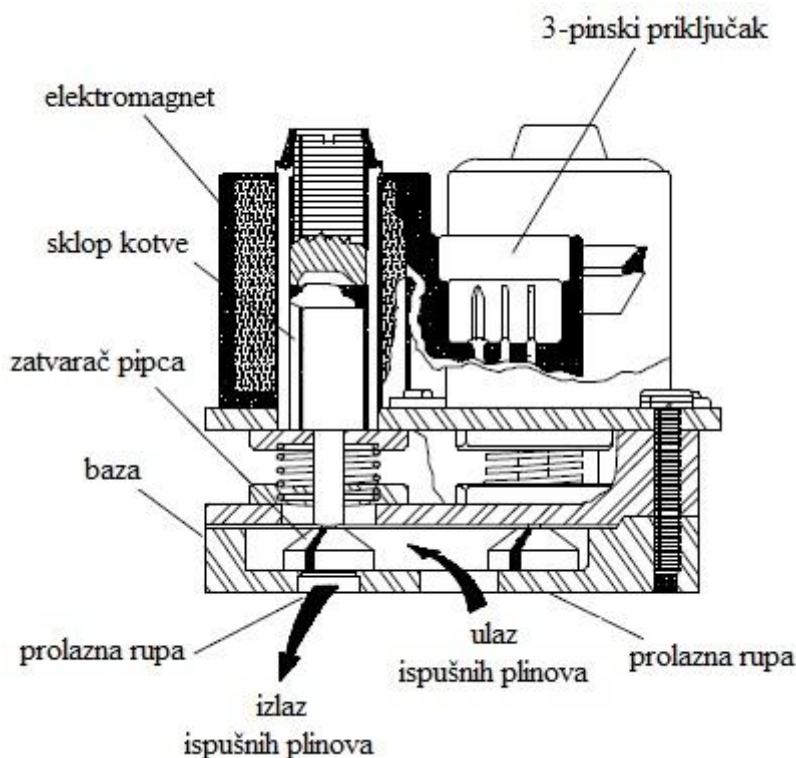
**Tablica 3. Kombinacije protoka kod digitalnog elektroničkog EGR ventila s dva elektromagneta.**

00	Isključena oba elektromagneta = nema protoka
01	Uključen jedan elektromagnet = protok kroz manju rupu
10	Uključen jedan elektromagnet = protok kroz veću rupu
11	Uključena oba elektromagneta = protok kroz obje rupe



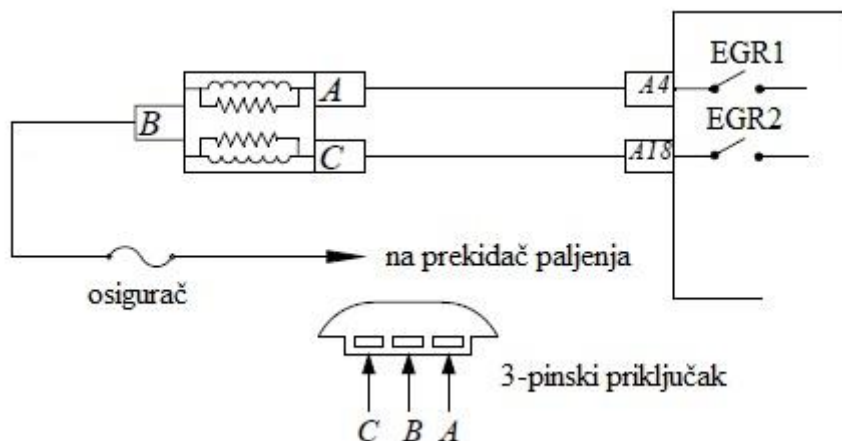
**Slika 16. Digitalni elektronički EGR ventil s dva elektromagneta[16].**

Slika 17 prikazuje kombinaciju 00 što znači da nema protoka kroz EGR ventil (oba elektromagneta su isključena). Kotve obaju pipaca su pritisnute na sjedišta rupa. Pipci prolaze kroz baznu ploču, donje i gornje brtve te opruge. Donje brtve sprečavaju prolazak ispušnih plinova iz komore, a gornje pak brtve prostor elektromagneta, što je vidljivo na slici 16. Obje brtve pozicioniranima drže opruge.



Slika 17. Digitalni elektronički EGR ventil s dva elektromagneta za slučaj kada nema recirkulacije [16].

Oba elektromagneta imaju jedan zajednički priključak B koji dolazi s prekidača paljenja. Taj zajednički priključak je preko osigurača napajan naponom baterije (akumulatora), slika 18. Ovisno o parametrima koji utječu na upravljanje EGR ventila, ECU uključuje jednu od tri kombinacije elektromagneta i time osigurava tri različita protoka ispušnih plinova ponovno u usisnu cijev.



Slika 18. Shema upravljanja digitalnog elektroničkog EGR ventila s dva elektromagneta [16].

#### 4.5. Elektronički EGR ventil upravljani PWM signalom

##### PWM signal

PWM signal jedan je od načina predstavljanja analognih signala digitalnim putem. PWM signal se smatra digitalnim signalom jer je u svakom trenutku vremena nivo signala ili na nuli ili na maksimalnoj vrijednosti. Kod PWM signala je informacija kodirana s vremenom trajanja svakog impulsa. Za digitalni signal postavi se frekvencija, a faktor popunjenosti  $d$  (engl. Duty cycle) varira ovisno o amplitudi analognog signala. Faktor popunjenosti definiran je kao omjer vremena trajanja jednog impulsa i vremena trajanja jednog ciklusa, izražen u postocima

$$d = (T_i / T_c) \cdot 100\% , \quad (3)$$

$T_i$  - vrijeme trajanja impulsa,

$T_c$  - vrijeme trajanja impulsa.

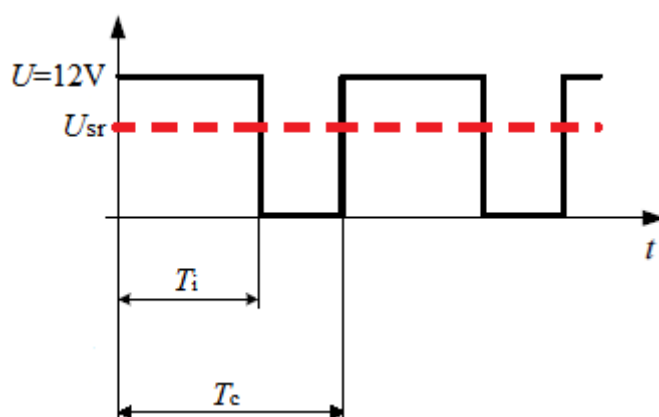
Pravokutni PWM signal opisuju tri parametra: amplituda (koja je jednaka naponu  $U$ ), frekvencija  $f$  i faktor popunjenosti  $d$ .

$$T_c = \frac{1}{f} = \text{konst.} \quad (4)$$

Na slici 19. prikazan je oblik PWM signala u nekom trenutku otvaranja EGR ventila. Napon  $U$  iznosi ili 0 ili 12V.

Srednja vrijednost pravokutnog valnog oblika napona armature računa se kako slijedi:

$$U_{sr} = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} u(t) dt = \frac{1}{T_c} \cdot U \int_0^{T_i} dt + \frac{1}{T_c} \cdot 0 \cdot \int_{T_i}^{T_c} dt = \frac{T_i}{T_c} \cdot U = d \cdot U . \quad (5)$$

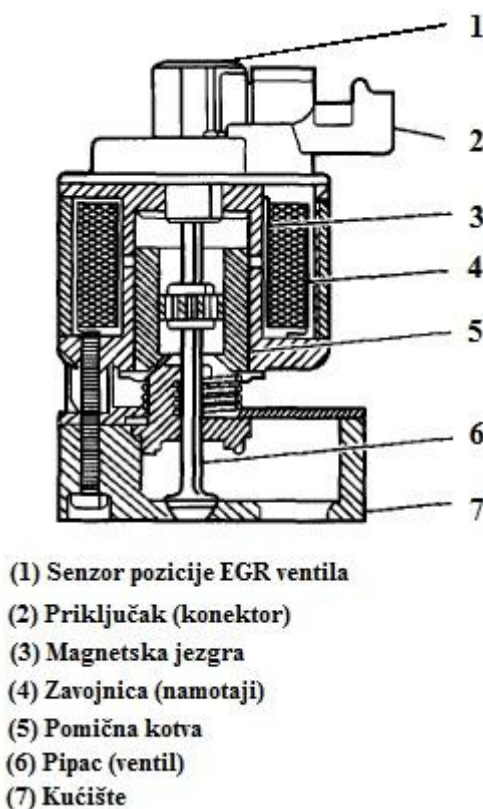


Slika 19. Vrijeme trajanja impulsa i vrijeme trajanja ciklusa [17].

PWM signali se koriste za razna upravljanja procesima. Najviše se koriste za upravljanje DC motorima, ali se također mogu koristiti i za upravljanje ventilima, pumpama, hidraulikom i drugim mehaničkim uređajima.

Elektronički EGR ventili koji su po prvi puta primjenjeni 1992. godine (u General Motorsu) bili su linearni. Naziv linearni nose s obzirom da se recirkulacija odvija linearnim pomakom ventila. To su bili potpuno elektronički upravljani ventili pomoću PWM signala. Također su prvi EGR ventili na kojima je primjenjena regulacija, tako da ECU ima informaciju o trenutnom položaju ventila, a time i o trenutnom protoku kojeg može mijenjati.

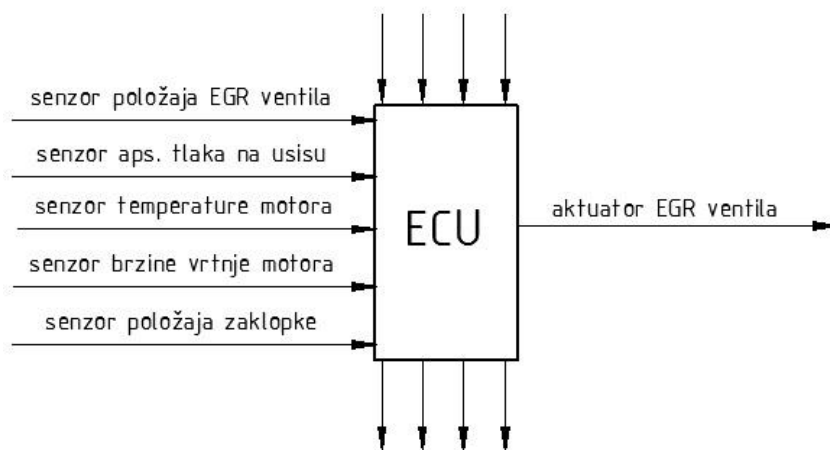
Baza (podnožje) ventila ima dvije prolazne rupe, veću i manju. Veća rupa omogućava prolazak ispušnih plinova u komoru EGR ventila, a manja rupa pak prestrujavanje ispušnih plinova iz komore na usisnu granu. Bazna ploča i brtva služe brtvljenju ispušnih plinova unutar komore EGR ventila. Baza ima dvije rupe kroz koje se EGR ventil pomoću vijaka pričvršćuje na ispušnu granu. Ovaj tip EGR ventila ima i oprugu čija je svrha zatvaranje ventila u slučaju nestanka napajanja, slika 20.



Slika 20. Prvi linearni elektronički EGR ventil (General Motors) [18].

Kada ECU osjeti potrebu za promjenom položaja EGR ventila (slučaj promjene opterećenja motora), ono šalje preko integriranog upravljačkog sklopa elektromagneta (engl. *Solenoid driver chip*) promjenjivi strujni PWM signal na zavojnicu aktuatora (elektromagneta) EGR ventila. To uzrokuje pojavu elektromagnetskog polja koje pomiče kotvu čvrsto vezanu za pipac te se on odmiče sa sjedišta.

S obzirom da se radi o regulacijskom ventilu, ECU uz pomoć povratne veze senzora položaja EGR ventila može uspoređivati zadane vrijednosti pomaka s dobivenima, pa tako može otkriti eventualne nepravilnosti u radu EGR ventila, kao npr. začepljenje čađom i takvu informaciju predočiti korisniku vozila. Slika 21 pokazuje većinu mogućih signala sa raznih senzora koji utječu na rad EGR ventila [19].



Slika 21. Shematski prikaz upravljanja EGR ventila.

Konektor EGR ventila se sastoji od 5 pinova označenih slovima A, B, C, D, E. Pinovi A i E spojeni su na zavojnicu elektromagneta, dok se pinovi B, C i D nalaze na senzoru pomaka. Tablica 4 pokazuje spajanje pojedinih pinova EGR ventila na priključke u vozilu.

Tablica 4. Spajanje pinova konektora EGR ventila [19].

pin	Spajanje na:
A	ECU (upravljački signal)
B	masu
C	ECU (povratni signal 0-5V)
D	+5V
E	+12V

Na slici 22 prikazana je jedna od izvedbi današnjih linearnih elektroničkih EGR ventila.



Slika 22. Linearni elektronički EGR ventil tvrtke Delphi [20].

Osim linearnih, postoje i elektronički EGR ventili koji umjesto pipca imaju zakretni disk. Disk je takvog oblika da pri zakretanju kontinuirano povećava odnosno smanjuje protok povratnih ispušnih plinova većim ili manjim preklapanjem otvora, slika 23.



**Slika 23. Zakretni elektronički EGR ventil tvrtke Gustav Wahler GmbH u. Co. KG [8].**

Neke izvedbe EGR ventila imaju zaklopku, sličnu zaklopki snage kod Otto motora. Njezinim zakretanjem vrši se ista funkcija kao i kod prethodnog primjera, mijenja se EGR, slika 24.



**Slika 24. EGR ventil sa zaklopkom tvrtke Delphi [21].**

Zakretanje diska odnosno zaklopke je također upravljano PWM signalima, a kao aktuator najčešće se koristi istosmjerni DC motor, čiji će princip rada biti objašnjem u sljedećem poglavlju.

U ovom potpoglavlju objašnjena je izvedba prvog elektroničkog EGR ventila s elektromagnetom kao aktuatorom. Izvedba najčešće korištenih elektroničkih EGR ventila danas biti će objašnjena u sljedećem poglavlju.

## 5. UPRAVLJANJE ELEKTRONIČKOG EGR VENTILA PWM SIGNALOM

Za laboratorijski rad odabran je elektronički EGR ventil aktiviran snažnim istosmjernim DC (engl. *Direct Current*) motorom koji osigurava pouzdan rad pri visokim temperaturama i velikom utjecaju korozije, a omogućava brzo otvaranje odnosno zatvaranje ventila unutar 75-100 ms, tip 700434 tvrtke Valeo, slika 25.

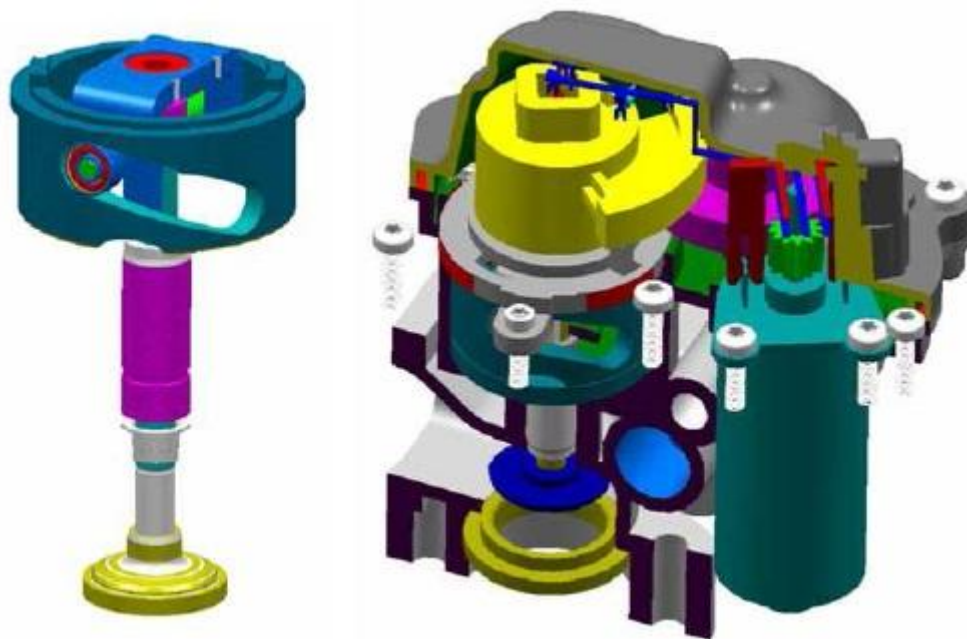


Slika 25. EGR ventil, Valeo 700434 [22].

EGR modul prikazan na slici koristi se u Diesel motorima koji zadovoljavaju EURO 5 normu. Sastoji se od DC motora, prijenosnika snage, krivuljnog mehanizma, ventila i senzora položaja.

Upravljanje otvaranjem ventila ostvareno je preko krivuljnog mehanizma koji pretvara rotacijsko gibanje DC motora u kontrolirano translacijsko gibanje ventila. Prijenos snage ostvaren je preko zupčaničkog prijenosnika (reduktora) koji predaje okretni moment preko klina na podizač ventila. Zbog geometrijske forme krivuljnog mehanizma s vodicom po obodu ostvareno je složeno gibanje ventila, rotacija oko svoje osi i translacija. Na taj način promjenom kuta zakreta DC motora, mijenja se hod ventila, slika 26. Mehanizam ima i oprugu koja osigurava zatvaranje ventila pri isključenju motora.





Slika 26. Mehanizam za otvaranje i zatvaranje EGR ventila [23].

EGR modul sastoji se i od hladnjaka ispušnih plinova. Količina hlađenih ispušnih plinova je kontrolirana premosnom prigušnicom (engl. bypass choke) koja se nalazi između EGR ventila i hladnjaka, a u sebi ima ugrađen senzor pomaka, tako da preko 3-pinskog priključka daje povratnu informaciju ECU o položaju tj. otvorenosti. Aktivira se pneumatski, povećanim pretlakom ispušnih plinova pri velikom opterećenju motora čime preusmjerava ispušne plinove kroz hladnjak. Pri malom opterećenju motora premosna prigušnica ostaje zatvorena pa povratni ispušni plinovi ne prestrujavaju kroz hladnjak.

### 5.1. Upravljački signali

Kako se EGR ventilom upravlja iz programskog paketa s računala, tada je najjednostavnije koristiti digitalne upravljačke signale. Kod digitalne obrade signala minimiziran je broj hardverskih komponenti. Digitalni sklopovi su slabo osjetljivi na šumove i promjene temperatura i to su osnovne prednosti kod obrade digitalnih signala. Da bi se ostvarile analogne vrijednosti napona na DC motoru EGR ventila, koristi se pulsno širinska modulacija, PWM (poglavlje 4).

### 5.2. Sklopovlje i elektroničke sheme potrebne za upravljanje EGR ventilom

U svrhe upravljanja, koristit će se NI (engl. *National Instruments*) oprema i njihov programski paket LabView što posjeduje Laboratorij za motore i vozila, Fakulteta strojarstva i brodogradnje. S obzirom da je EGR ventil upravljan istosmjernim motorom, a upravljanje se koristi i za otvaranje i za zatvaranje ventila, potrebno je ostvariti mogućnost promjene smjera vrtnje motora tj. smjera struje. Zbog toga će se koristiti H-most. Kako bi se cijeli sustav zaštitio od preopterećenja, koristit će se određene elektroničke komponente.



### 5.1.1. CompactRIO 9074

CompactRIO je podesivi ugrađeni sustav upravljanja i prikupljanja podataka. Sustav uključuje ulazno-izlazne module, podesivu FPGA (engl. *Field Programmable Gate Array*) bazu i upravljački sklop. Osim toga, CompactRIO je programabilan s programskim paketom LabView, a može se koristiti i kod drugih aplikacija upravljanja i nadzora. S računalom je spojen preko ethernet porta. Ima 8 serijskih portova za spajanje priključnih modula, slika 27. Glavna prednost u odnosu na sustav CompactDAQ visoka frekvencija rada od 400MHz koja je omogućena FPGA čipom.



Slika 27. Baza za module NI CompactRIO 9074 [24].

### 5.1.2. Ulazno-izlazni moduli za upravljanje

Na CompactRIO spajaju se moduli preko serijskog porta. Postoji nekoliko tipa modula, ovisno radi li se o upravljanju nekim sustavom ili prikupljanju podataka (ulazni ili izlazni), ali također i o vrsti signala (analogni ili digitalni). Također postoje i moduli koji imaju kombinaciju digitalnih ulaza i izlaza.

#### NI 9401

NI 9401 je TTL (engl. *Transistor-Transistor Logic*) modul s kombinacijom digitalnih ulaza i izlaza, DIO (engl. Digital Input Output) preko kojih je moguće upravljati nekim sustavom ili prikupljati podatke. Za modul NI 9401 prikazan na slici 28. moguće je u programskom paketu LabView postaviti kombinaciju 8 digitalnih izlaza, 8 digitalnih ulaza ili 4 digitalna ulaza i 4 digitalna izlaza. S obzirom da se EGR sustav upravlja PWM signalima, koristit će se konfiguracija s 8 digitalnih izlaza. Za upravljanje promjenom smjera vrtnje DC motora EGR ventila koristit će se 2 digitalna izlaza.



Slika 28. Modul NI 9401 s mogućnošću konfiguracije digitalnih ulaza i izlaza [25].

NI 9219

Kako bi dobili povratnu informaciju sa senzora položaja EGR ventila, koristit će se modul NI 9219 s analognim ulazima. Taj modul se sastoji od 4 kanala što znači da se može koristiti za istovremena mjerenja s 4 različitih senzora, slika 29. Ventil za recirkulaciju ispušnih plinova ima 2 senzora, jedan je senzor položaja EGR ventila, a drugi senzor položaja prenosne prigušnice hladnjaka EGR ventila. S obzirom da se koristi samo senzor položaja EGR ventila, sukladno tome koristi se samo jedan kanal (kanal 0). Svaki kanal se sastoji od 6 priključnih pinova te se ovisno o ulaznom modu rada odgovarajući pinovi spajaju na senzore. Senzor pomaka je linearni potencijometar, stoga se primjenjuje polu-mosni (engl. *Half-Bridge*) mod, a spajanje pinova vrši se prema tablici 5, proizvođača National Instruments.

Tablica 5. Oznake pinova na kanalu modula NI 9219 [26].

Mod	Pin					
	1	2	3	4	5	6
Half-Bridge	T+	T-	EX+	HI	EX-	-

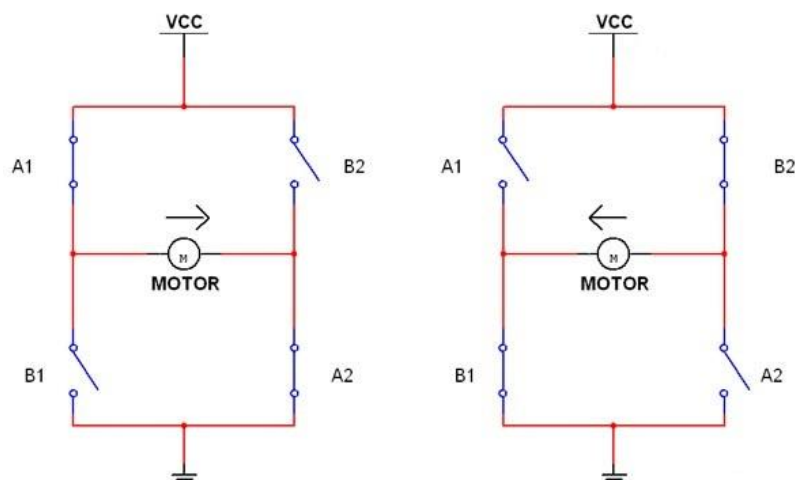
Pinovi s oznakama T+ i T- ne koriste se jer oni služe isključivo za identifikaciju i umjeravanje senzora. Preko pinova EX+ i EX- ostvareno je napajanje senzora, a preko pina HI povratni signal položaja EGR ventila, tablica 5. Sukladno tome, odgovarajući pinovi s modula spajaju se s odgovarajućim pinovima na konektoru EGR ventila.



Slika 29. Modul NI 9219 s analognim ulazima [27].

**5.1.3. Elektroničke sheme**

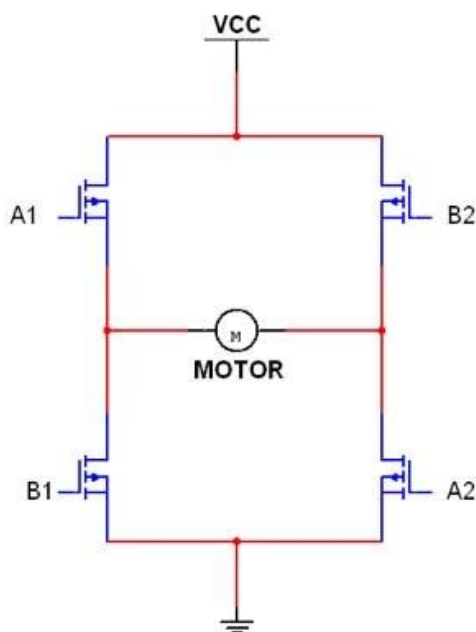
Kao što je već ranije spomenuto, za mogućnost promjene smjera vrtnje DC motora EGR ventila koristi se H-most. Kao sigurnost od preopterećenja koriste se optospreznici tj. optoizolatori (engl. *Optocouplers*), diode i osigurač.

H-most

Slika 30. Shematski prikaz H-mosta [28].

Slika 30 shematski prikazuje H-most ostvaren pomoću sklopki (prekidača). Uz odgovarajuće kombinacije sklopki A i B moguće je promijeniti smjer vrtnje motora. Na slici lijevo sklopke A1 i A2 su uključene, motor se vrti u smjeru kazaljke na satu. Na slici desno sklopke B1 i B2 su uključene pa se motor vrti suprotno od smjera kazaljke na satu. Kada su sve sklopke isključene, motor nije napajan.

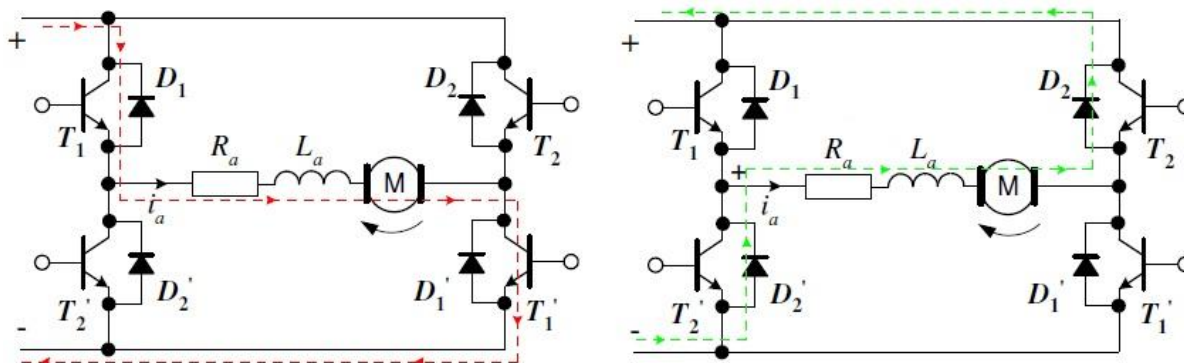
U praksi se za upravljanje promjenom smjera vrtnje ne koriste sklopke već najčešće MOSFET tranzistori kao sklopke kojima se upravlja PWM signalom s mikrokontrolera. Pritom su po dva i dva tranzistora spojena na isti upravljački PWM signal, slika 31.



Slika 31. Realna izvedba H-mosta pomoću tranzistora [28].

## Princip rada H-mosta:

Premda je DC motor EGR ventila predviđen za rad pri naponu od +12V, tada kao izvor može poslužiti baterija (akumulator). Ako pak bi se H-most napajao preko mrežnog ispravljača, tada bi ispravljač na svom izlazu morao imati kondenzatore viskog iznosa kapaciteta u svrhu izgladivanja napona istosmjernog međukruga pretvarača. Pretpostavlja se da su sve diode i tranzistori idealni (kada vode, nema pada napona na njima) [17].

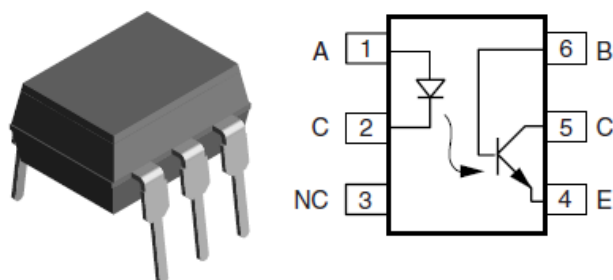


Slika 32. H-most pri uključenju tranzistora  $T_1$  i  $T_1'$  i nakon njihovog isključenja [17].

Prema slici 32, uključenjem tranzistora  $T_1$  i  $T_1'$  motor se počinje okretati u smjeru kazaljke na satu. Isključivanjem navedenih tranzistora došlo bi do prekidanja strujnog kruga, što može biti vrlo nepovoljno jer se u strujnom krugu nalazi zavojnica (induktivitet armature  $L_a$ ). Da protunapon zavojnice ne bi oštetio tranzistore, tranzistorima se dodaju protuparalelno spojene diode. Pri isključivanju para tranzistora  $T_1$  i  $T_1'$  provest će diode  $D_2$  i  $D_2'$ , protuparalelno spojene drugom paru tranzistora  $T_2$  i  $T_2'$  (onom koji prije nije bio uključen). Te diode biti će propusno polarizirane za dani smjer struje armature (te će omogućiti nastavak tijeka struje), spajajući pritom armaturu na napon suprotnog polariteta [17].

Optosprežnik

Optosprežnik je elektronička komponenta koja se sastoji od infracrvene svjetlosno emitirajuće diode, LED (engl. *Light Emitting Diode*) i NPN fototranzistora u jednom kućištu, slika 33. Primjenjuje se kao prekidački uređaj, brojač okretaja, pobudnik releja, izolacija impulsne pobude, optički prijemnik i predajnik te sigurnosni uređaj od preopterećenja.



Slika 33. Optosprežnik 4N25 tvrtke Vishay [29].

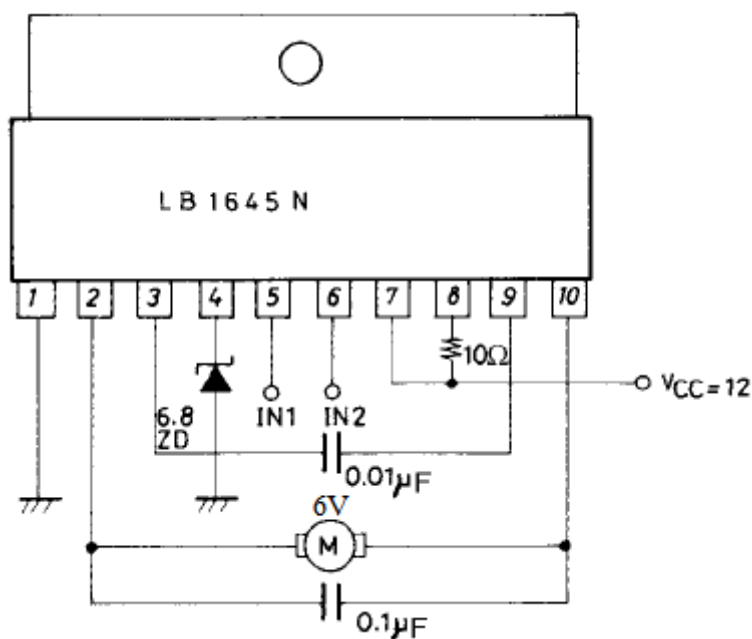
U konkretnom slučaju koristit će se kao sigurnosni uređaj od preopterećenja modula jer ne može provesti struju u suprotnom smjeru (ponaša se kao izolator).

Ulazi A i C spajaju se na modul NI 9401 koji šalje PWM signal na diodu. Dioda zasvijetli i pobudi fototranzistor (pin B) koji se počinje ponašati kao sklopka te spoji kolektor (pin C) i emiter (pin E) na isti potencijal.

Nakon pregleda dostupnih elektroničkih komponenata na tržištu, u programskom paketu Eagle napravljene su tri sheme upravljanja, PRILOG I, II, III [31, 32, 33].

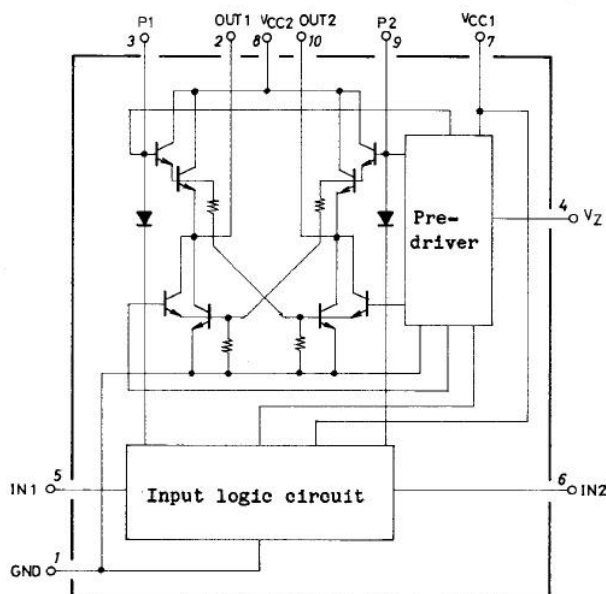
Od proizvođača EGR ventila Kolbenschmidt Pierburg AG, dobiveni su podaci potrebni za upravljanje EGR ventilom [30]. Maksimalna struja iznosi 1,5A, a frekvencija PWM signala je veća od 1kHz. Te vrijednosti bi mogle okvirno poslužiti za upravljanje EGR ventila u laboratoriju.

Zbog jednostavnosti, manjeg broja komponenti i gotovog H-mosta u integriranom krugu za kojeg proizvođač nudi primjer sheme spajanja prema slici 34, odabrana je shema iz PRILOGA III. Maksimalna dopuštena struja na izlazima integriranog kruga (pinovi 2 i 10) iznosi  $\pm 1,6A$  što bi prema podacima trebalo zadovoljavati.



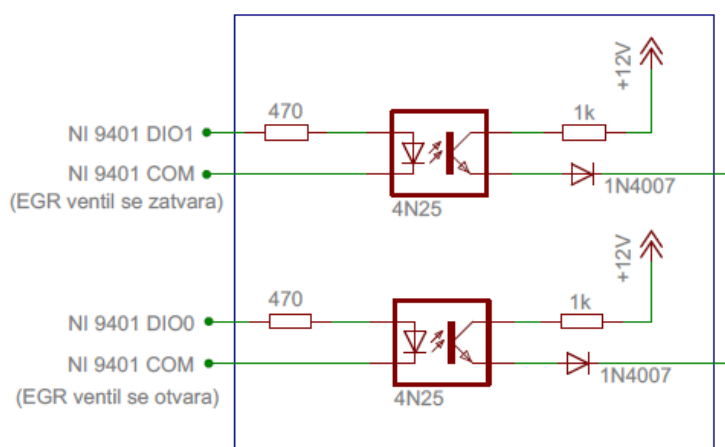
Slika 34. Shema spajanja DC motora na integrirani krug LB1645N [33].

Za razliku od primjera sheme sa slike 34, DC motor EGR ventila namjenjen je za napajanje od 12V. Stoga umjesto Zenerove diode ZD 6.8 dolazi Zenerova dioda ZD 12. Svrha Zenerove diode je da stabilizira i ograniči željeni napon, pa broj koji dolazi uz oznaku ZD predstavlja taj napon. Nadomjesna shema H-mosta prikazana je na slici 35.



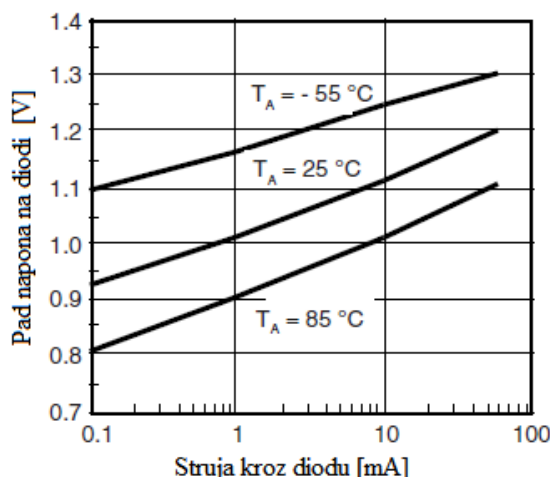
Slika 35. Nadomjesna shema H-mosta LB1645N [33].

Na pinove 5 (IN1) i 6 (IN2) spajaju se upravljački signali na H-most. Kako bi zaštitili NI module od eventualno moguće struje probijanja tranzistora usljed protunapona armature za slučaj da diode zakažu, koriste se dodatna zaštita od preopterećenja, optospreznici i dodatne diode, slika 36.



Slika 36. Zaštita NI 9401 modula od eventualnih povratnih struja.

Kako bi pravilno opteretili elektroničke komponente, potrebno je poznavati njihove karakteristike. Tako npr. poznavajući karakteristiku diode optospreznika i vrijednost izlaznog napona iz NI 9401 modula (vrijednost PWM signala koji predstavlja tzv. logičku jedinicu odnosno napon okidanja) moguće je na jednostavan način odrediti vrijednost otpora na ulazu u optosprežnik pomoću II. Kirchhoffovog zakona koji kaže da je suma svih napona u strujnom krugu jednaka nuli.



Slika 37. Strujno-naponska karakteristika diode optosprežnika 4N25 pri provođenju [29].

$V_{ul,ok} = 5\text{V}$  napon okidanja,  
 $I_{D,ul} \cong 10\text{mA}$  preporučena struja kroz diodu [30],  
 $V_D \cong 1,1\text{V}$  pad napona na diodi pri temperaturi okoline,

$$V_{ul,ok} - I_{D,ul} \cdot R_{ul,op} - V_D = 0, \quad (6)$$

$$R_{ul,op} = (V_{ul,ok} - V_D) / I_{D,ul} = (5 - 1,1) / 0,010 = 390\Omega. \quad (7)$$

Odabran je ulazni otpor  $R_{ul,op} = 470\Omega$ ,  
 pa je stvarna struja kroz diodu

$$I_{D,ul} = (V_{ul,ok} - V_D) / R_{ul,op} = (5 - 1,1) / 470 \cong 8,3\text{mA}. \quad (8)$$

Vrijednost otpora na izlazu optosprežnika moguće je odrediti na osnovu zahtjeva proizvođača koji kaže da je za okidanje tranzistora integriranog kruga potrebno na ulaze 5 (IN1) i 6 (IN2) dovesti minimalno 2V, te da je potrebna minimalna vrijednost ulazne struje 10...15μA [33]. Uz napon na kolektoru optosprežnika od 12V, ponovnim postavljanjem II. Kirchhoffovog zakona dobiva se vrijednost otpora na izlazu optosprežnika.

$V_{CC} = 12\text{V}$  napon na kolektoru fototranzistora,

$I_{ul,IC} \cong 15\mu\text{A}$  minimalna struja na ulazu u LB1645N [34],

$V_{ul,IC} \cong 2\text{V}$  minimalni napon na ulazu u LB1645N,

$$V_{CC} - I_{ul,IC} \cdot R_{izl,op} - V_{ul,IC} = 0, \quad (9)$$

$$R_{izl,op} = (V_{CC} - V_{ul,IC}) / I_{ul,IC} = (12 - 2) / 0,000015 = 666,6\text{k}\Omega. \quad (10)$$

Pri ovako velikim vrijednostima otpora odziv na ulazu u integrirani krug bio bi prespor za upravljanje izlaznih uređaja (DC motora). S druge strane pak, dodavanje premalog otpora uzrokovalo bi veću potrošnju energije (jača struja tekla bi kroz fototranzistor u stanju



zasićenja, pa bi i s te strane imalo nepovoljni efekt). Odabirom otpornika od  $1k\Omega$  vrijednost ulazne struje integriranog kruga bi iznosila:

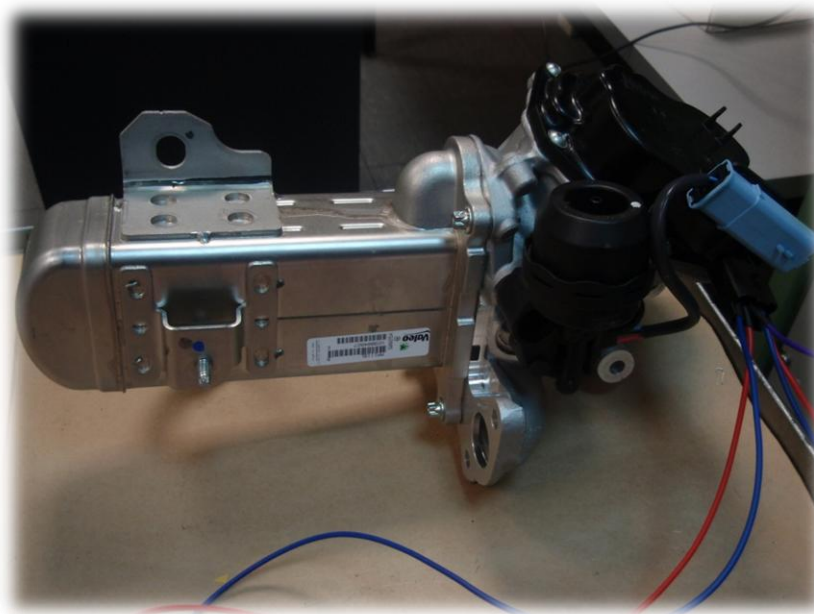
$$I_{ul,IC} = (V_{CC} - V_{ul,IC}) / R_{izl,op} = (12 - 2) / 1000 = 10mA, \quad (11)$$

što je zadovoljavajuće.

Dakle, PWM signal generiran u programskom paketu LabView šalje se preko NI sklopovlja naizmjenično (ovisno o željenom pomaku EGR ventila) na ulaz jednog od optospreznika. Struja potječe kroz diodu te ona zasvijetli. Svjetlosni signal pobudi bazu fototranzistora i on provede (dolazi do toka struje s kolektora kroz emiter na ulaz integriranog kruga). U integriranom krugu dva tranzistora spojena na isti ulazni signal provedu i DC motor se počinje okretati u jednom smjeru. Kako bi se izbjegao udar ventila, potrebno je u vrlo kratkom vremenu isključiti signal s ulaza jednog optospreznika i uključiti ga na drugi. U tom slučaju DC motor mijenja smjer vrtnje. Pri takvom naizmjeničnom uključivanju i isključivanju signala s promjenjivim faktorom popunjenosti  $d$  ostvareno je upravljanje EGR ventila.

### 5.3. Spajanje odabrane sheme u sustav

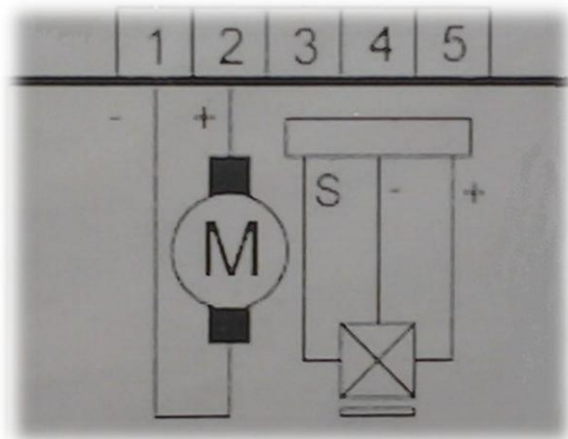
Nakon proračuna i crtanja shemi upravljanja, prema shemi 3 kupile su se elektroničke komponente i slijedilo je njihovo spajanje u sustav. Slika 38 prikazuje EGR modul spojen na upravljanje.



Slika 38. EGR ventil kojim se upravlja u laboratoriju za motore i vozila.

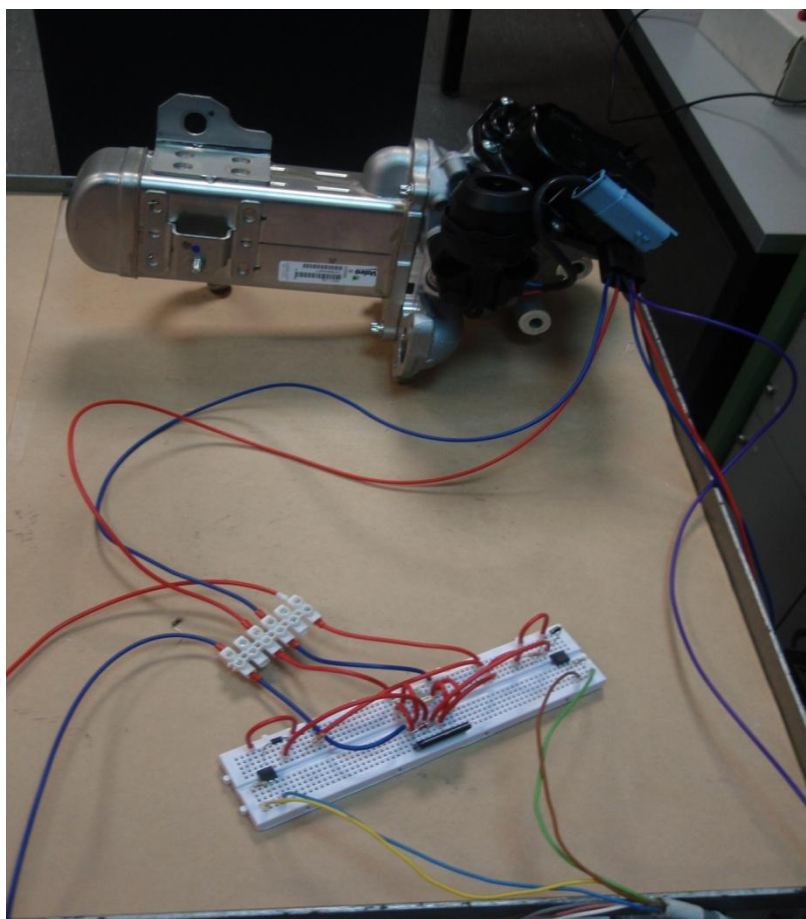
EGR ventil kao krajnji član ovog upravljačkog lanca na svojem konektoru ima pinove od 1 do 5. Na pinovima 1 i 2 spojen je DC motor, a na pinovima 3, 4 i 5 spojen je senzor položaja ventila, kao što to prikazuje slika 39 [23].



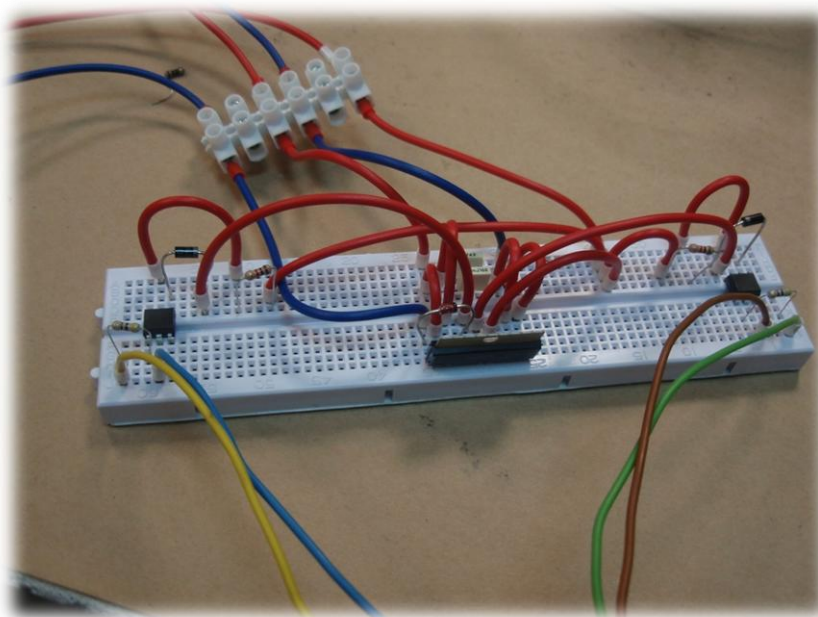


Slika 39. Shema spoja motora i senzora položaja na konektor EGR ventila [23].

Pinovi 1 i 2 povezani su nadalje žicama preko rednih stezaljki na elektroničku pločicu na kojoj je realizirana odabrana shema iz PRILOG-a III, slike 40 i 41.

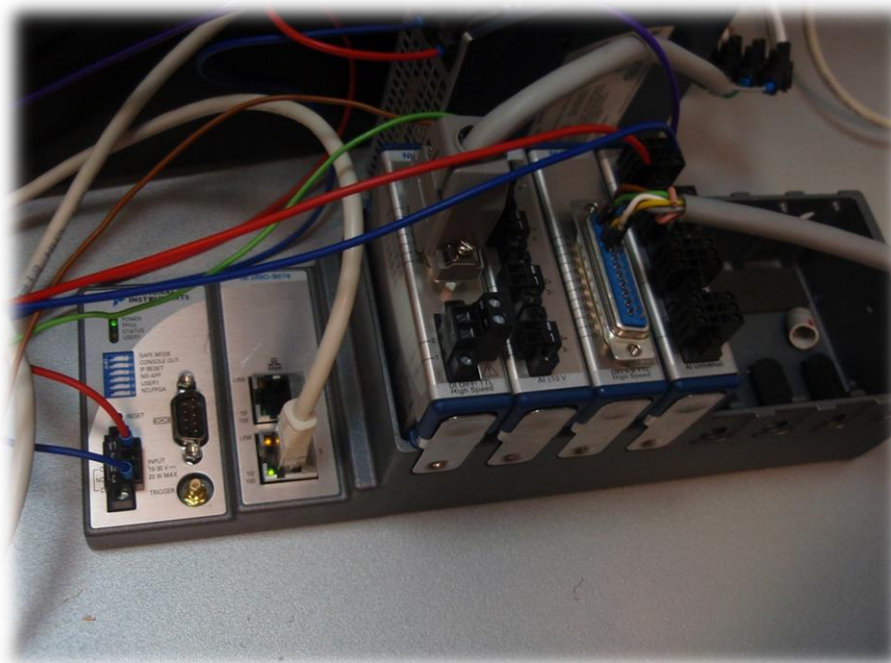


Slika 40. EGR ventil spojen na upravljanje.



Slika 41. Shema upravljanja EGR ventila.

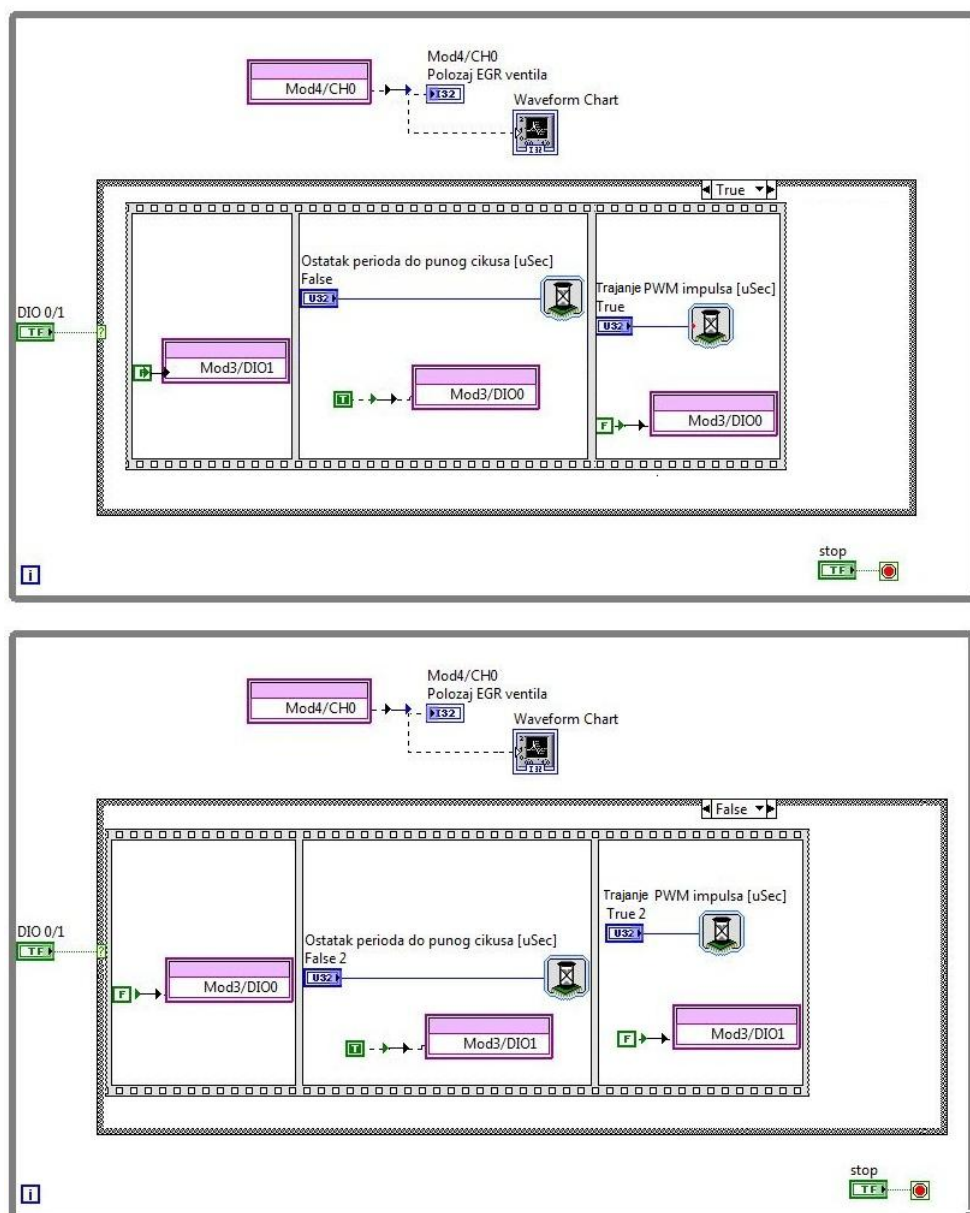
Upravljački signali s modula spajaju se na elektroničku pločicu na optosprežnike koji upravljaju radom EGR ventila. Signali dolaze s modula NI 9401, a nalazi se na trećem mjestu u CompactRIO bazi (plavi konektor). Desno do njega nalazi se modul NI 9219 s analognim ulazima, na kojeg je spojen senzor položaja EGR ventila, kao što je napomenuto ranije u tablici 5. Baza modula spojena je na napajanje. Desno od priključka za napajanje nalaze se dva ethernet porta. Jednim portom baza modula spojena je na računalo (PC) koje izravno iz programskog paketa LabView upravlja cijelim procesom, slika 42.



Slika 42. CompactRIO baza s modulima.

### 5.4. Programski kod u LabView-u

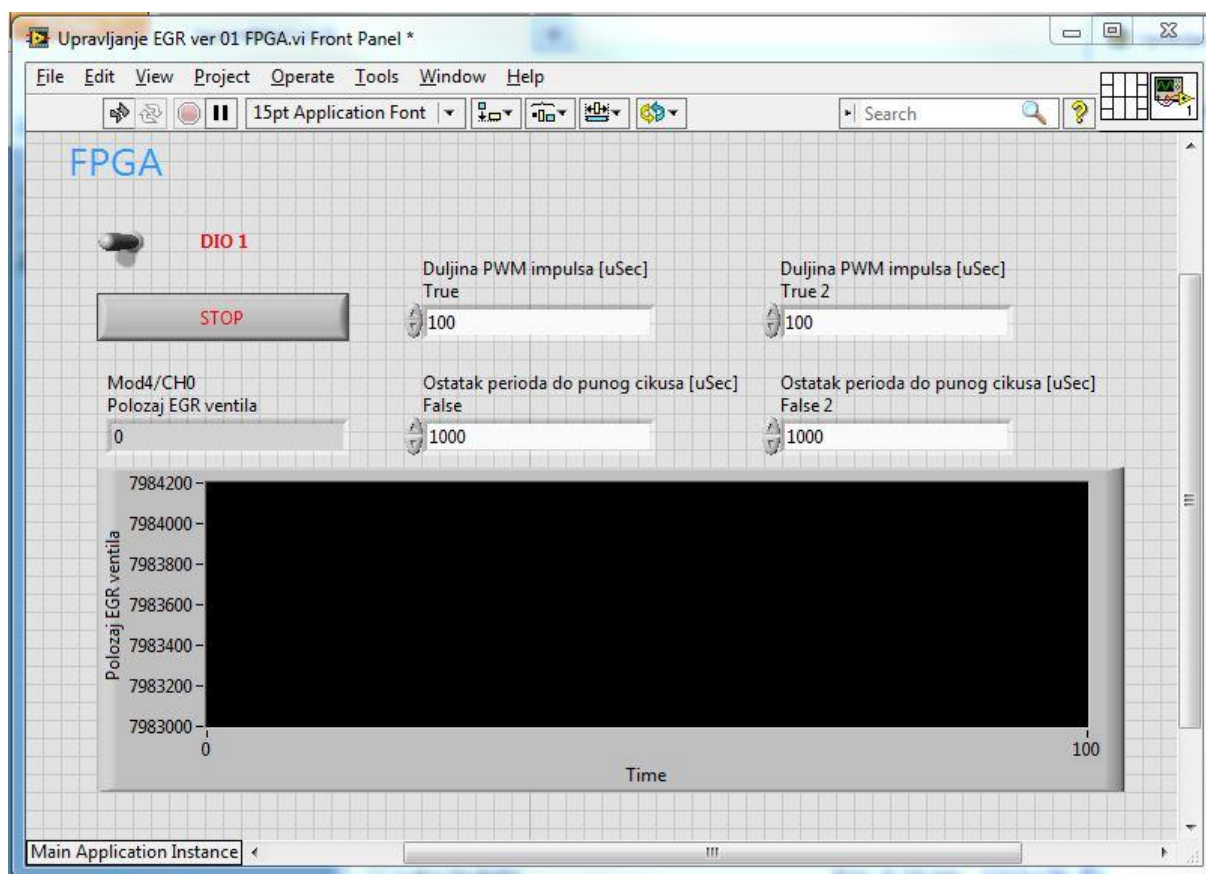
Zbog nepoznatih parametara potrebnih za upravljanje EGR ventilom nije moguće izvesti kontrolirano upravljanje EGR ventila. Frekvencija PWM signala i podaci o DC motoru kao aktuatoru su nepoznati. Stoga se u programskom paketu LabView napravio kod za generiranje PWM signala na osnovu ručno unesenih duljina trajanja impulsa (TRUE) i duljina kada je impuls 0 (FALSE). Tako se može kspperimentalnim putem doći do okvirnih vrijednosti parametara potrebnih za pravilan rad EGR ventila, slika 43 i 44.



Slika 43. Programski kod za upravljanje EGR ventila.

Kada je na prekidaču na slici 44 vrijednost TRUE, izvršava se programska petlja na slici 43 (gore). Pritom nema signala na izlazu DIO1, već se signal šalje na izlaz DIO0. Na taj se način upravlja otvaranjem EGR ventila. Promjenom vrijednosti na prekidaču s TRUE na FALSE, izvršava se petlja na slici 43 (dolje). Tada nema signala na izlazu DIO0 nego se signal šalje na izlaz DIO1. Time je ostvareno upravljanje zatvaranjem EGR ventila.

Kako bi se imala na vidu informacija o trenutnom položaju EGR ventila, signal sa senzora položaja dovodi se preko NI opreme na računalo i prikazuje se u dijagramu.



Slika 44. Upravljački dio u LabViewu.

### 5.5. Pokusni rad

Nakon spajanja cijelog sustava u cjelinu i razrađenog koda u LabView-u uslijedilo je upravljanje. Krenulo se s unosom duljine PWM impulsa i ostatka perioda do punog ciklusa. Na slici 44 prikazan je upravljački dio s vrijednostima duljine PWM impulsa od 0,1 ms i ostatka perioda do punog ciklusa od 1 ms. Kako su se ručno mijenjale te vrijednosti pri istoj frekvenciji PWM signala (mijenjajući samo faktor popunjenosti  $d$ ), nisu se događale nikakve promjene u sustavu, EGR ventil se nije otvarao. Potom se je pristupilo promjeni frekvencije. U seriju u strujni krug spojio se ampermetar i promatrale su se vrijednosti struje koje teku kroz DC motor EGR ventila. S povećanjem frekvencije signala vrijednost struje na ampermetru se je smanjivala i EGR ventil je ostajao u zatvorenom položaju. Smanjivanjem frekvencije PWM signala struja kroz DC motor počela je rasti. U jednom trenutku pri frekvenciji ispod 500 Hz ventil se otvorio, ampermetrom je potekla struja preko 2A i moralo se trenutno prekinuti napajanje kako ne bi došlo do trajnog oštećenja integriranog H-mosta. Još se nekoliko puta pokušavalo ostvariti upravljanje shemom 3, no nije bilo nikakvih rezultata. Problem je stvarala struja potezanja koja je bila prejaka za elektronički sklop LB1645N.

Kako bi se otklonio nedostatak prethodne sheme i omogućile jače struje potezanja, kao rješenje mogla bi poslužiti shema 2 [PRILOG 2]. H-most u shemi 2 ostvaren je snažnim MOSFET tranzistorima s najvećim dopuštenim strujama od preko 10A. Pokusnim radom došlo se do zaključka da je frekvencija PWM signala ispod 500Hz. Spajanjem sheme 2 i mijenjanjem parametara u LabView-u može se ostvariti upravljanje sustavom.

## 6. ZAKLJUČAK

Želja svakog proizvođača je biti korak ispred konkurencije na tržištu. Jedan od uspjeha krije se u poslovnim tajnama odnosno informacijama koje proizvođač ne daje u optičaj. Stoga su i proizvođači EGR ventila neke informacije koje krajnjem korisniku i nisu toliko bitne, a mogle bi ih ugroziti od strane konkurencije odlučili zadržati za sebe. Tako je u ovom slučaju uz premali broj poznatih parametara potrebnih za upravljanje EGR ventila onemogućen njegov kontrolirani rad. Kako bi se eventualno došlo do nekih nepoznatih vrijednosti potrebno je izvršiti eksperimentalna istraživanja. U tom slučaju cijeli proces postaje složeniji i dugotrajniji. Shemom 3 [PRILOG 3] nije bilo moguće ostvariti upravljanje zbog ograničenja izlazne struje integriranog H-mosta. Kao rješenje dao sam shemu 2 [PRILOG 2] u kojoj se koriste snažni MOSFET tranzistori s najvećim dopuštenim strujama od preko 10A. Spajanjem te sheme ukolonio bi se nedostatak prethodne. S obzirom da se eksperimentiranjem došlo do zaključka da je frekvencija PWM signala ispod 500Hz, tada se spajanjem sheme 2 i mijenjanjem parametara u LabView-u može ostvariti upravljanje sustavom. U želji ostvarenja kontroliranog rada EGR ventila tj. EGR modula osobno ću se nastaviti zalagati u nastavku studija, naravno uz pomoć mentora i kolegi iz laboratorija za motore i vozila.



## LITERATURA

- [1] Eurlex,  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:199:0001:0136:EN:PDF> , (studeni 2012.)
- [2] Delphi,  
[delphi.com/pdf/emissions/Delphi\\_PC.pdf](http://delphi.com/pdf/emissions/Delphi_PC.pdf) , (studeni 2012.)
- [3] Mahalec, I., Lulić, Z., Kozarac, D., Motori s unutarnjim izgaranjem, nastavni materijali, Zagreb 2010.
- [4] Autosshop101,  
[www.autosshop101.com/forms/h61.pdf](http://www.autosshop101.com/forms/h61.pdf) , (studeni 2012.)
- [5] Alavi, S., Technological Evaluation of Gas Recirculation of IC Engine, 2010.  
<http://www.scribd.com/doc/47637731/EGR-ENGINE-Final> , (prosinac 2012.)
- [6] Valeo,  
[www.valeo.com/.../PRESS%20KIT%20eng.pdf](http://www.valeo.com/.../PRESS%20KIT%20eng.pdf) , (prosinac 2012.)
- [7] Zhao, F., Lai, M.-C., Harrington, D.L.: Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engine, Progress in Energy and Combustion Science (1999.), 25, 437–562
- [8] Wahler,  
[http://www.wahler.de/fileadmin/wahler/Dokumente/pdf\\_kataloge/Ventilbroschuere\\_en.pdf](http://www.wahler.de/fileadmin/wahler/Dokumente/pdf_kataloge/Ventilbroschuere_en.pdf) , (prosinac 2012.)
- [9] Kansas City TDI,  
<http://kansascitytdi.com/intake-manifold-cleaning/> , (prosinac 2012.)
- [10] Dieselnet,  
[http://www.dieselnet.com/tech/engine\\_egr\\_sys.php](http://www.dieselnet.com/tech/engine_egr_sys.php) , (prosinac 2012.)
- [11] Gilles, T., Automotive Service, Inspection-Maintenance-Repair, 2nd edition, Thomson Delmar Learning, New York 2004.
- [12] Autozone,  
[http://www.autozone.com/autozone/repairguides/Ford-Fairmount-Zephyr-1978-1983-Repair-Guide/Emission-Control/Ported-Vacuum-Switch-Distributor-Vacuum-Control-Valve/\\_/P-0900c15280086aef](http://www.autozone.com/autozone/repairguides/Ford-Fairmount-Zephyr-1978-1983-Repair-Guide/Emission-Control/Ported-Vacuum-Switch-Distributor-Vacuum-Control-Valve/_/P-0900c15280086aef) , (siječanj 2012.)
- [13] General Motors Corp.,  
<http://dc149.4shared.com/doc/Vsa-7UyT/preview.html> , (siječanj 2012.)

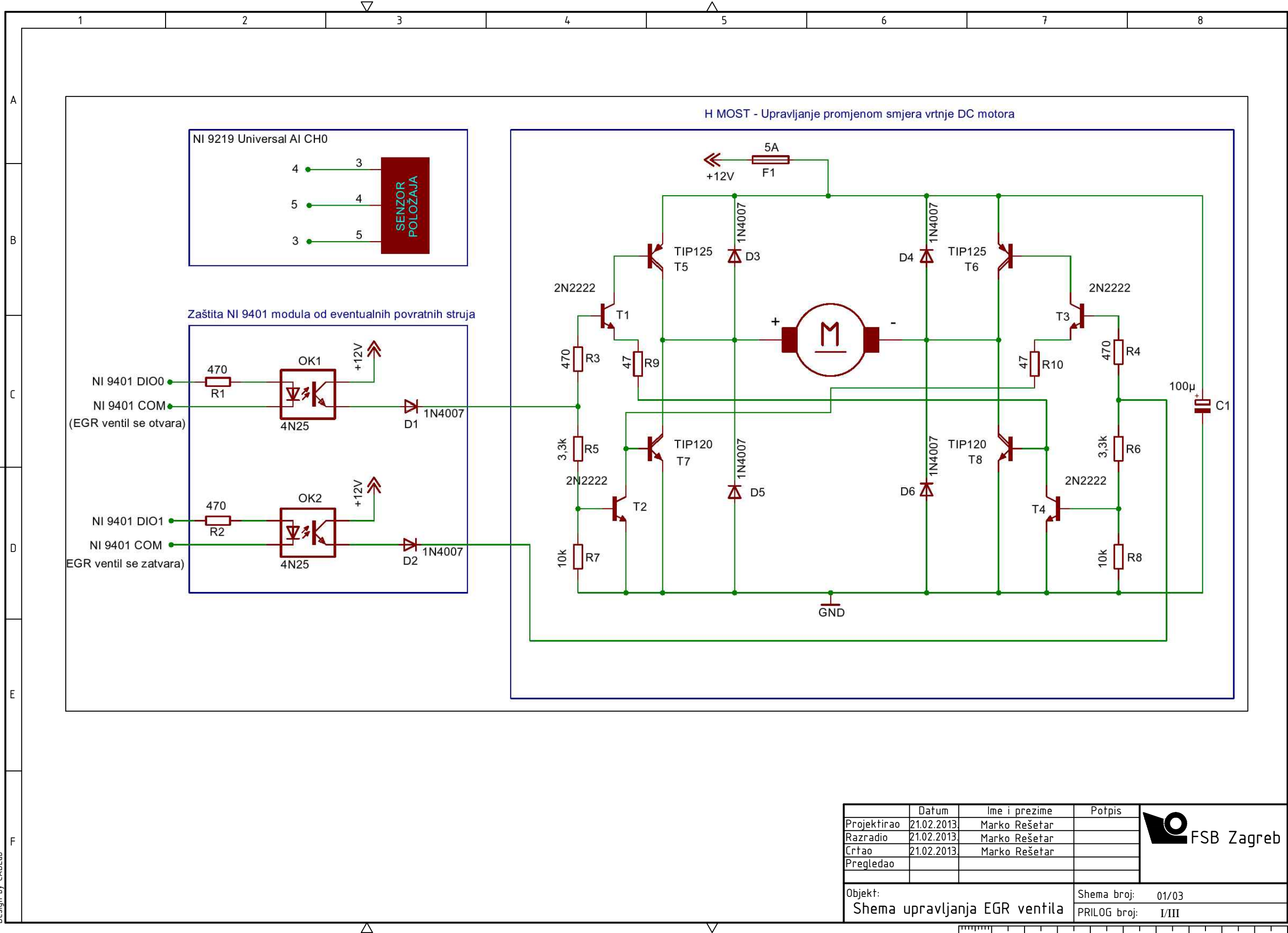
- [14] Tomco,  
[www.tomco-inc.com/Tech\\_Tips/ttt27.pdf](http://www.tomco-inc.com/Tech_Tips/ttt27.pdf) , (siječanj 2012.)
- [15] Auto-parts  
<http://www.auto-parts-online.com/products/egr-valve-chevy-trk-suburban-fullsize-blazer-egv833.html> , (siječanj 2012.)
- [16] Tomco,  
[www.tomco-inc.com/Tech\\_Tips/ttt29.pdf](http://www.tomco-inc.com/Tech_Tips/ttt29.pdf) , (siječanj 2012.)
- [17] Pavković, D., Nastavni materijali iz elektronike
- [18] Autozone,  
[http://www.autozone.com/autozone/repairguides/GM-Malibu-Cutlass-1997-2000/EMISSION-CONTROLS/Exhaust-Gas-Recirculation-System/\\_/P-0900c15280268f8b](http://www.autozone.com/autozone/repairguides/GM-Malibu-Cutlass-1997-2000/EMISSION-CONTROLS/Exhaust-Gas-Recirculation-System/_/P-0900c15280268f8b) , (siječanj 2012.)
- [19] Tomco,  
[www.tomco-inc.com/Tech\\_Tips/ttt30.pdf](http://www.tomco-inc.com/Tech_Tips/ttt30.pdf) , (siječanj 2012.)
- [20] GM, Linear EGR  
<http://autolabscopediagnostics.com/linearegr.htm> , (siječanj 2012.)
- [21] Delphi,  
<http://delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/diesel/engcontrols/egr/> , (siječanj 2012.)
- [22] Valeo,  
<http://www.valeoservice.com/html/unitedkingdom/en/produits.catalogueproduits.php> , (siječanj 2012.)
- [23] Peugeot, Prezentacija motora DW10CTED4
- [24] National Instruments,  
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/hr/nid/203964#> , (veljača 2012.)
- [25] National Instruments,  
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/hr/nid/208809> , (veljača 2012.)
- [26] National Instruments,  
[www.ni.com/pdf/manuals/372264a.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/372264a.pdf) , (veljača 2012.)
- [27] National Instruments,  
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/hr/nid/208789> , (veljača 2012.)



- [28] HV Labs,  
<http://www.hvlab.com/hbridge.html> , (veljača 2012.)
- [29] Vishay,  
[www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf](http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf) , (veljača 2012.)
- [30] Kolbenschmidt Pierburg AG,  
<http://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=pierburg%20exhaust%20gas%20recirculation&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.e90post.com%2Fforums%2Fattachment.php%3Fattachmentid%3D788959%26d%3D1353962606&ei=0kseUdTtEImitAbpoIHQAQ&usg=AFQjCNHvDDfKpAI2CiX4aTsnFmrHVcROFA&bvm=bv.42553238,d.bGE> , (veljača 2012.)
- [31] Electronics-Tutorial,  
[http://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_7.html](http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html) , (veljača 2012.)
- [32] Bidirectional PWM motor design,  
[http://wiki.mech.uwa.edu.au/index.php/Micro\\_crash\\_course/pwm/Bidirectional\\_pwm\\_driver](http://wiki.mech.uwa.edu.au/index.php/Micro_crash_course/pwm/Bidirectional_pwm_driver) , (veljača 2012.)
- [33] Sanyo,  
<http://octopart.com/lb1645n-sanyo-2175935> , (veljača 2012.)

## **PRILOZI**

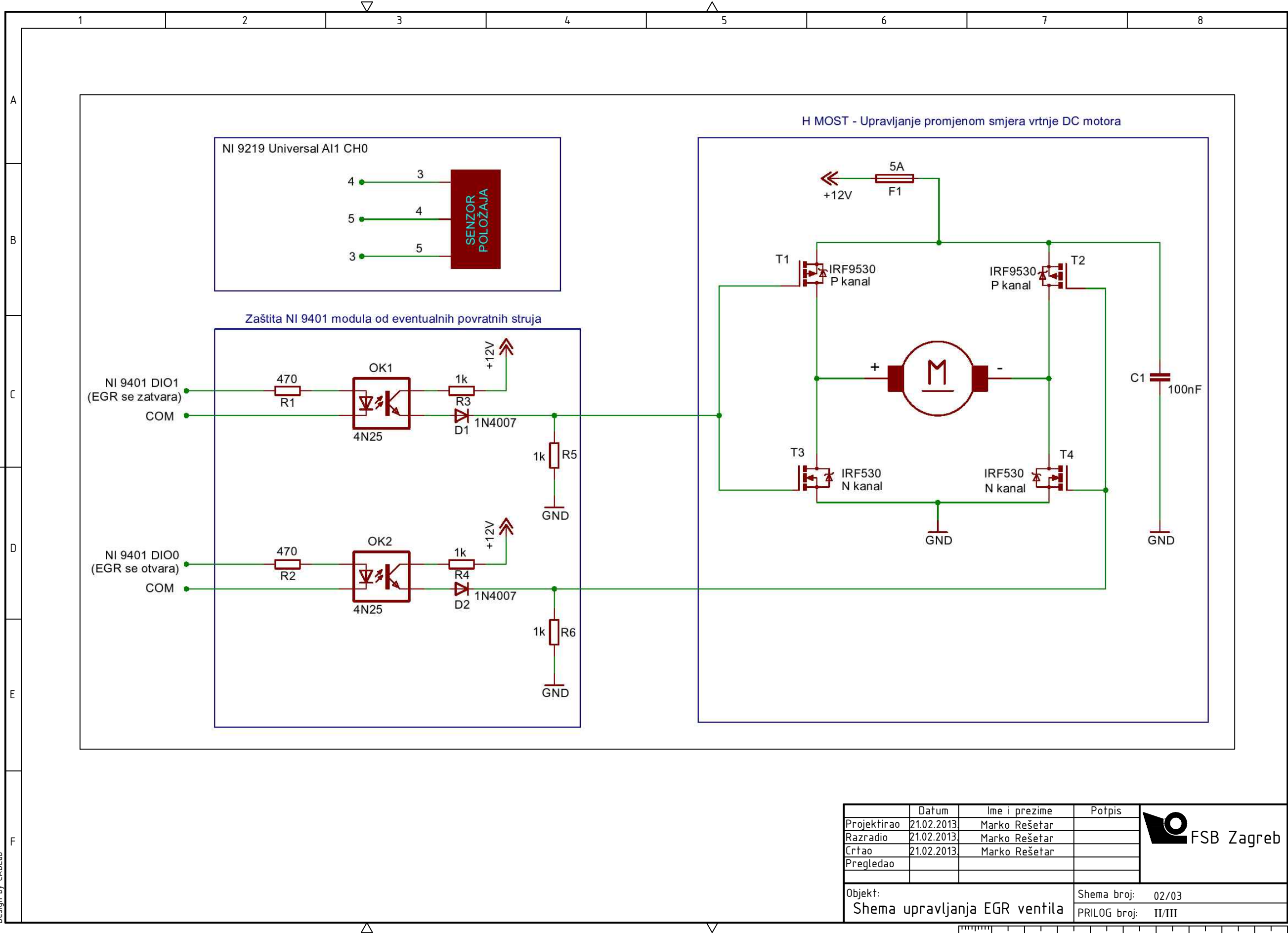
- I. Shema 1
- II. Shema 2
- III. Shema 3



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Razradio	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Crtao	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Pregledao			
Objekt:			Shema broj: 01/03
Shema upravljanja EGR ventila			PRILOG broj: I/III

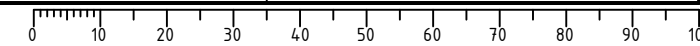


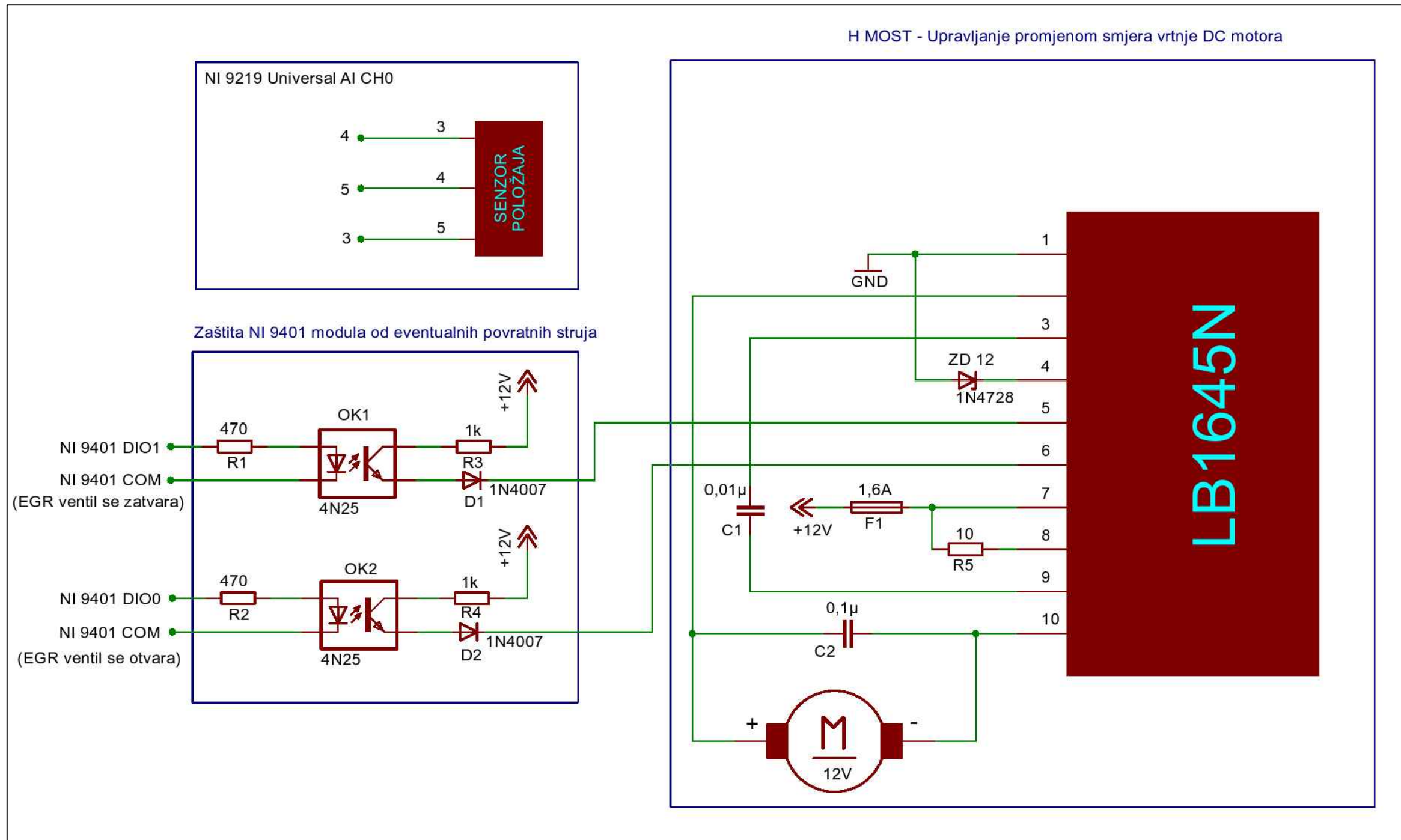
Design by CADLab



Design by CADLab

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Razradio	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Crtao	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Pregledao			
Objekt:			Shema broj: 02/03
Shema upravljanja EGR ventila			PRILOG broj: II/III





	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Razradio	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Crtao	21.02.2013.	Marko Rešetar	
Pregledao			
Objekt:			Shema broj: 03/03
Shema upravljanja EGR ventila			PRILOG broj: III/III